Atena Editora
Ano 2021

Projeto, Análise e Otimização na Área das Engenharias

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Atena Editora
Ano 2021

Projeto, Análise e Otimização na Área das Engenharias

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Editora Chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Assistentes Editoriais
Natalia Oliveira
Bruno Oliveira
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto Gráfico e Diagramação
Natália Sandrini de Azevedo
Camila Alves de Cremo
Luiza Alves Batista
Maria Alice Pinheiro
Imagens da Capa
Shutterstock
Edição de Arte
Luiza Alves Batista
Revisão
Os Autores

2021 *by Atena Editora*
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2021 Os autores
Copyright da Edição © 2021 Atena Editora
Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial
Ciências Humanas e Sociais Aplicadas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Atena Editora
Ano 2021

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Atena Editora
Ano 2021

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde
Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias
Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes
Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico
Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Atena Editora
Ano 2021

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Atena Editora
Ano 2021

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Atena Editora
Ano 2021

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Projeto, análise e otimização na área das engenharias

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P964 Projeto, análise e otimização na área das engenharias / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5706-696-6
DOI 10.22533/at.ed.966210601

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2021

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

Um dos grandes desafios enfrentados atualmente pelos engenheiros nos mais diversos ramos do conhecimento, é de saber ser multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas. Hoje exige-se que os profissionais saibam transitar entres os conceitos e práticas, tendo um viés humano e técnico.

Neste sentido este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber.

Apresenta temas relacionados a área de engenharia mecânica e materiais, dando um viés onde se faz necessária a melhoria continua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril. Destaca-se ainda a apresentação das áreas da engenharia e elétrica e eletrônica, com a busca da redução de custos e automação de processos.

Da ênfase em alguns trabalhos voltados a realizar um levantamento econômico dos de processos e o estudo das áreas térmicas.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradeço pela confiança e espirito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 ..... **1**

ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE MICROCONTROLADORES NA AUTOMAÇÃO DE SHOPPING CENTER

Rafael Jacinto dos Santos
Guilherme Henrique Ferreira Neves
Luiz Felipe Costa Rosa
Washington Junio Ferreira Resende

DOI 10.22533/at.ed.9662106011

CAPÍTULO 2 ..... **8**

ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS INVERSORES DE TRÊS NÍVEIS NPC E PONTE H

Kennedy Ricardo da Silva
Abinadabe Silva Andrade

DOI 10.22533/at.ed.9662106012

CAPÍTULO 3 ..... **20**

VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LUMINÁRIAS LED NO SETOR INDUSTRIAL

Bruno Sousa de Castro
Antonio Manoel Batista da Silva

DOI 10.22533/at.ed.9662106013

CAPÍTULO 4 ..... **34**

PROJETO PARA ELABORAÇÃO DE UMA PEN PLOTTER

Rafael Ferreira da Silva
Welton Abreu Rosa
Luciana Paro Scarin Freitas
Jorge Luis Ribeiro dos Santos Júnior
Luís Henrique Chouay Dall'Agnese
Grégori da Cruz Balestra

DOI 10.22533/at.ed.9662106014

CAPÍTULO 5 ..... **40**

DEPRECIAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS USANDO OS MÉTODOS LINHA, COLE, PERCENTAGEM CONSTANTE E CAIRES

Adalberto Gomes de Miranda
Jonhnny Jeyson da Costa Gandra
Adailza Aparício de Miranda
Steven Frederick Durrant
José Costa de Macêdo Neto
Adailson Aparício de Miranda

DOI 10.22533/at.ed.9662106015

CAPÍTULO 6 ..... **56**

ANÁLISE DOS IMPACTOS GERADOS PELA FALTA DE COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS NO CUSTO DA EXECUÇÃO DE UMA CRECHE TIPO 1 PADRÃO FNDE EM

CARUARU-PE
Matheus Henrique Pacheco Bezerra
Maria Victória Leal de Almeida Nascimento
DOI 10.22533/at.ed.9662106016

CAPÍTULO 7 70

ESTIMAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DIFERENTES AGENTES ARRASTADORES NA MISTURA AZEOTRÓPICA ÁGUA/1-PROPANOL POR MEIO DO XSEOS
Erich Potrich
Larissa Souza Amaral
DOI 10.22533/at.ed.9662106017

CAPÍTULO 8 78

PROJETO DE ELEMENTOS FINITOS: FLEXÃO EM BARRAS COM DIFERENTES MATERIAIS
Gabriel Brandão Santos
Gleidson Silva Figueiredo
Jullyane Milena Silva de Figueiredo
DOI 10.22533/at.ed.9662106018

CAPÍTULO 9 93

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE COMPÓSITO DE MATRIZ DE GESSO REFORÇADO COM CAPIM
Diogo Antonio Correa Gomes
Eduardo Hélio de Novais Miranda
Gustavo Monteiro Costa Sbampato Resende
Henrique Andrade Alvarenga Barbosa
Márcia Aparecida Imaculada de Oliveira
Mariane Duarte Resende
Thaiane Oliveira Marcelino
DOI 10.22533/at.ed.9662106019

CAPÍTULO 10 100

PROJETO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO MECÂNICA DE UM GUINCHO DE IÇAMENTO PARA LOCOMOÇÃO DE CARGAS
Antonio Rodrigues Freitas de Carvalho
Diógenes Linard Aquino Freitas
Eduardo Ataíde de Oliveira
Jardielson José da Costa Almeida
Lucas Filipe de Vasconcelos
DOI 10.22533/at.ed.96621060110

CAPÍTULO 11 113

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE REFRIGERADOR PORTÁTIL BASEADO NO EFEITO PELTIER
Bruno Almeida Miranda Silva
Vitor Alves Pimenta
Maksym Ziberov

DOI 10.22533/at.ed.96621060111

CAPÍTULO 12.....124

PROPOSTA DE INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO TERMO-HIDRÁULICO DE NANOFLUIDOS NA REFRIGERAÇÃO DE REATORES NUCLEARES À ÁGUA LEVE

Alexandre Melo de Oliveira
Amir Zacarias Mesquita
Isabela Carolina Reis

DOI 10.22533/at.ed.96621060112

CAPÍTULO 13.....131

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO ESCOAMENTO DE AR EM DIFUSORES PARA APLICAÇÃO NA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

Silmara Bispo dos Santos
Rodrigo Sabino Pereira
Francisco Carlos Lima de Souza
Keteri Poliane Moraes de Oliveira
Edson Godoy

DOI 10.22533/at.ed.96621060113

CAPÍTULO 14.....144

FATORES DE EQUILÍBRIO E DOSES EM MINAS SUBTERRÂNEAS BRASILEIRAS

Talita de Oliveira Santos
Zildete Rocha
Paulo Cruz
Vandir de Azevedo Gouvea
Flávia Luiza Soares Borges
João Batista de Siqueira
Laura Cardoso Takahashi

DOI 10.22533/at.ed.96621060114

CAPÍTULO 15.....152

PHYSICAL DISTRIBUTION AND RADIOLOGICAL CONTRAST OF CEMENTS IMPLANTED *IN VITRO* VERTEBRAE

Carlos Julio Montaño Valencia
Sonia Seger Pereira Mercedes
Luciana Batista Nogueira
Tarcísio Passos Ribeiro de Campos

DOI 10.22533/at.ed.96621060115

CAPÍTULO 16.....160

PROJETO DE UM PADRÃO UNIVERSAL DE BAIXO CUSTO PARA CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E INSPEÇÃO DE SOLDAGEM

Monalisa Pereira Silva
Maksym Ziberov

DOI 10.22533/at.ed.96621060116

SOBRE O ORGANIZADOR.....170

ÍNDICE REMISSIVO.....171

CAPÍTULO 1

ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE MICROCONTROLADORES NA AUTOMAÇÃO DE SHOPPING CENTER

Data de aceite: 04/01/2021
Data de submissão: 29/09/2020

Rafael Jacinto dos Santos
Universidade de Uberaba – UNIUBE
Uberaba – Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/9555384840799736

Guilherme Henrique Ferreira Neves
Universidade de Uberaba – UNIUBE
Uberaba – Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/5420116600615546

Luiz Felipe Costa Rosa
Universidade de Uberaba – UNIUBE
Uberaba – Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/9092956473605010

Washington Junio Ferreira Resende
Universidade de Uberaba – UNIUBE
Uberaba – Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/2249715890192346

RESUMO: Fazendo uso do microcontrolador Arduino um shopping center será automatizado, desde setores mais simples até os mais complexos. Utilizando nove microcontroladores, os quais trocarão informações com um supervisório, nele será feito todo o monitoramento e controle do sistema, tendo em vista que todo o sistema funcionará de forma automática, o qual terá intervenção humana somente para ajustes e acionamento manual se necessário. Fazendo uso de sensores de luminosidade a iluminação do ambiente será monitorada e controlada. Sendo esse um sistema de baixo custo, fácil acesso comercial, que atende as necessidades dos ambientes e proporciona bem-estar aos usuários.

PALAVRAS-CHAVE: Automação, Sistema, Arduino, Periférico.

STUDY AND IMPLEMENTATION OF MICROCONTROLLERS IN SHOPPING CENTER AUTOMATION

ABSTRACT: Using the Arduino microcontroller, a shopping center will be automated, from the simplest to the most complex sectors. Using nine microcontrollers, which will exchange information with a supervisor, all monitoring and control of the system will be carried out there, considering that the entire system will work automatically, will have human intervention only for adjustments and manual activation if necessary. Using light sensors, the ambient lighting will be monitored and controlled. This being one low cost system, easy commercial access, which meets the needs of the environments and provides well-being to users.

KEYWORDS: Automation, System, Arduino, Peripheral.

1 I INTRODUÇÃO

Muito se ouve falar em automação e sistemas automatizados, ela está presente no dia a dia do ser humano, tanto na indústria, no comércio e nas residências. É uma tecnologia relacionada com a aplicação de sistemas

mecânicos, elétricos e eletrônicos, apoiados em meios computacionais, na operação e controle de sistemas diversos. Essa tendência tecnológica tem crescido e tem proporcionado melhorias nos processos e na economia (ROSÁRIO, 2009).

As plataformas de microcontroladores de baixo custo, tipo Arduino e seus equivalentes, facilitam o acesso tecnológico da eletrônica e automação. Elas possibilitam a criação de sistemas automatizados de baixo custo, quando comparados aos equipamentos tradicionais utilizados atualmente. Arduino é um microcontrolador que engloba software e hardware livres (open source) que proporciona aos usuários uma plataforma para prototipação de projetos interativos, englobando a área da computação física, onde o software interage com sensores, atuadores e outros dispositivos eletrônicos (MCROBERTS, 2015).

Visando o conforto e bem-estar dos clientes surge a ideia de automatizar todo o sistema de iluminação de um shopping center. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é desenvolver um sistema de automação fazendo uso do Arduino e seus periféricos de entrada e saída., que venha a atender todas as necessidades sem fazer uso de um CLP e seus periféricos, de forma a gerar economia para a empresa na implementação.

2 I MATERIAIS E MÉTODOS

Na implementação desse trabalho será usado o microcontrolador Arduino mega 2560. O Arduino mega 2560 é baseado no microcontrolador ATmega2560, possui 16 entradas analógicas, 54 pinos de entrada e saídas digitais. Dessas, 15 podem ser usadas como saídas PWM. Possui também 4 portas de comunicação serial (BLUM, 2016).

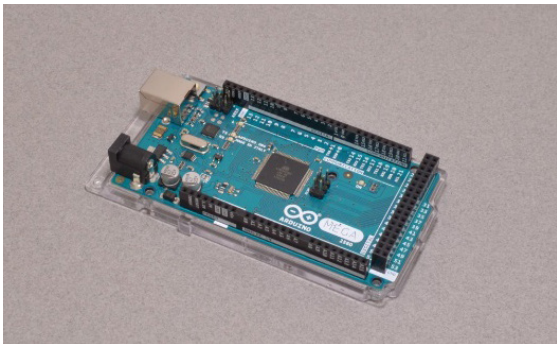


Figura 1: Arduino Mega 2560.

Fonte: Autoria própria.

A programação do sistema é realizada no Arduino IDE. O Arduino IDE é um software Arduino totalmente gratuito que permite desenvolver e gravar códigos no microcontrolador.

Fazendo uso do mesmo, pode-se realizar o upload dos códigos para a placa. Caso ocorra algum erro no código ou na configuração, o software gera uma notificação informando o mesmo (MONK, 2017).

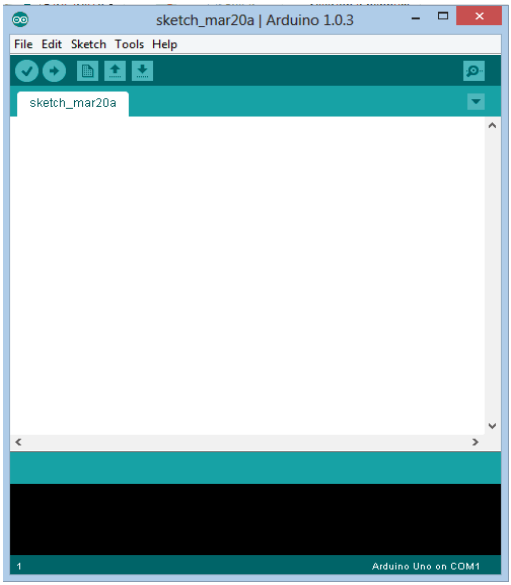


Figura 2: Arduino IDE.

Fonte: Autoria própria.

O código da programação é realizado na linguagem C++ (MONK, 2017).

Fazendo uso dessas tecnologias, de suas programações e dos módulos sensor de luminosidade, os quais podem ser configurados para diferentes níveis de detecção. E também fazendo uso dos periféricos de entrada e saída, sabendo a função de cada um deles, será desenvolvido na plataforma a programação de acordo com a necessidade de cada ambiente e do próprio usuário.

Na figura 3 é mostrado o sensor de luminosidade, no qual pode-se configurar a faixa de lúmens.

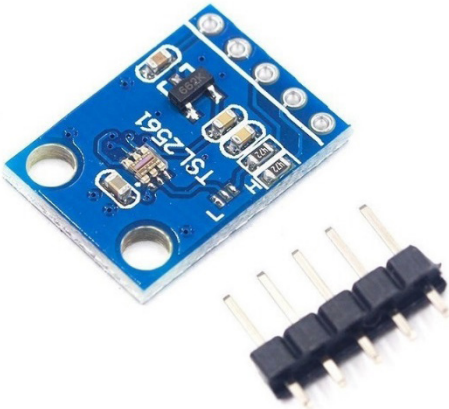


Figura 3: Luxímetro TSL2165.

Fonte: Arduinomega.

Na figura 4 e 5 temos os módulos relés que serão usados para acionar os contatores do sistema de iluminação.

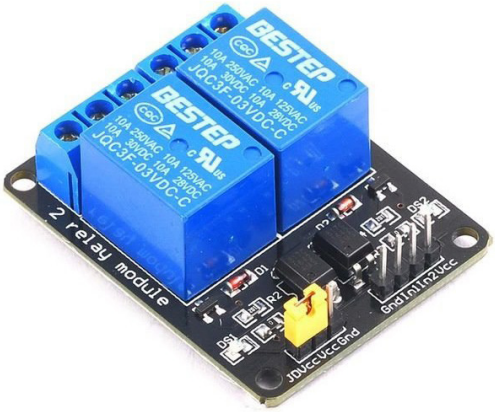


Figura 4: Modulo relé 2 canais.

Fonte: Arduinomega.

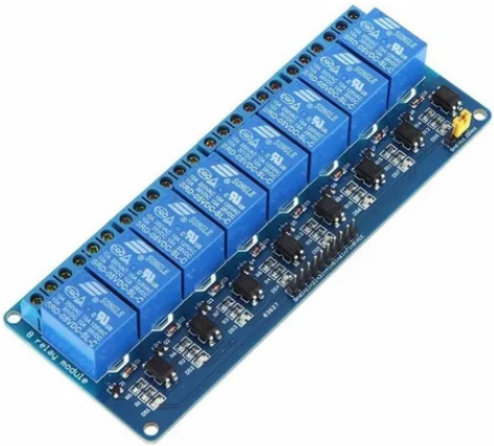


Figura 5: Modulo relé 6 canais.

Fonte: Arduinomega.

Na figura 6 mostra o diagrama de comunicação entre os Arduinos e o supervisório.

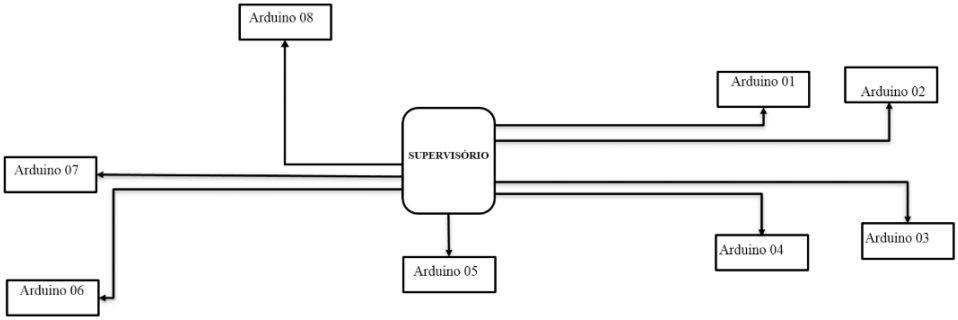


Figura 6: Diagrama do sistema.

Fonte: Autoria própria.

Para supervisionar todo esse sistema, será implementado um supervisório para ter todo o controle.

A seguir na figura 7 temos uma tela touch screen a qual ira mostra todo o sistema e seus respectivos dados

Figura 7: Tela para o supervisório.

Fonte: Arduinomega.

Além disso, esse sistema pode ser acessado remotamente e operado da mesma forma. Essa automatização pode ser usada para outras aplicações que vão bem além da iluminação.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Espera-se um sistema que venha a atender todas as necessidades voltadas a automação que envolve um shopping center, desde aplicações mais simples até as mais complexas. Um sistema que minimiza os custos, tendo em vista que, fazendo uso desses microcontroladores a implementação terá um custo baixo comparado ao uso de CLP.

Sabedores também que ocorrerá uma otimização do tempo, pois não será mais necessário a intervenção humana para acionamento de setores, sendo que o sistema funcionará de forma automática. Utilizando o supervisório será feito todo o acompanhamento através de dados gerados pelo mesmo.

Isso gerará uma satisfação para o shopping e para os seus clientes, pois se tornará um ambiente mais confortável e com uma iluminação adequada.

4 I CONCLUSÃO

O resultado esperado desse projeto é conforto e comodidade ao cliente, junto a isso, uma melhoria no setor de operações, tendo em vista que, ocorrerá uma otimização do tempo nas atividades, pois, a maioria dos acionamentos é feito através de timer, sendo necessário muitas vezes o ajuste devido as mudanças de luminosidade do ambiente.

É importante salientar que é um sistema desenvolvido com tecnologias de fácil acesso comercial, fácil utilização e baixo custo. Atendendo assim, a necessidade dos shopping centers.

REFERÊNCIAS

BLUM, Jeremy. **Explorando o Arduino:** Técnicas e ferramentas para mágicas de engenharia. 1. ed. Rio de Janeiro: Alta Books. 2016. 386p.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico:** Crie projetos simples e práticos com arduino. 2. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2015. 506p.

MONK, S. **Programação com Arduino:** começando com sketches. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017. 200p.

ROSÁRIO, J.M. **Automação Industrial.** São Paulo: Baraúna Editora, 2009.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS INVERSORES DE TRÊS NÍVEIS NPC E PONTE H

Data de aceite: 04/01/2021
Data de submissão: 18/11/2020

Kennedy Ricardo da Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB
Cajazeiras - PB
http://lattes.cnpq.br/7487623252769309

Abinadabe Silva Andrade
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB
Cajazeiras - PB
http://lattes.cnpq.br/6099967570100287

RESUMO: Este artigo investiga o desempenho do inversor de três níveis NPC e do inversor HB. A implementação é baseada na modulação Level-Shift PWM. Uma análise dos inversores é feita com base no desempenho (i) de Qualidade de Energia, avaliando o THD de corrente; (ii) de Eficiência, avaliando as perdas de condução e chaveamento e (iii) de Confiabilidade, avaliando o estresse térmico. A quantidade de dispositivos assim como o padrão de chaveamento influenciará o desempenho do inversor.
PALAVRAS-CHAVE: Inversor Multinível. Eficiência. Qualidade de Energia.

PERFORMANCE ANALYSIS OF NPC AND H BRIDGE THREE LEVEL INVERTERS

ABSTRACT: This article investigates the performance of the NPC three-level inverter and the HB inverter. The implementation is based on Level-Shift PWM modulation. An analysis of the inverters is made based on the Power Quality performance (i), evaluated in current THD; (ii) Efficiency, assessed as reduced conduction and switching, and (iii) Reliability, assessed or thermal stress. A number of devices as the switching pattern influences drive performance.
KEYWORDS: Multilevel Inverter. Efficiency. Power quality.

1 I INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente e desejo de libertação da dependência dos combustíveis fósseis está conduzindo cada vez mais o aprimoramento de técnicas e soluções alternativas para substituir as fontes convencionais e poluentes de energia. Carros elétricos, geração de energia através do vento (eólica) e através do sol (fotovoltaica) são as alternativas mais atraentes no contexto de sustentabilidade (ANDRADE et al., 2012). Todavia, para a utilização dessas alternativas há a necessidade de conversão de energia de CC para CA. Os inversores têm como objetivo justamente isso, de uma maneira geral os inversores são equipamentos que convertem energia contínua (CC) em energia alternada (CA) e vice-versa. Também há inversores que têm como função elevar ou diminuir a tensão, sem convertê-la para CC ou CA (FRANQUELO et al., 2008).

Os inversores são constituídos por semicondutores (na maioria dos casos MOSFETs) que fazem o chaveamento da energia que chega na carga, controlando o fluxo de tensão e corrente. Há várias formas de organizar os semicondutores nos inversores, cada forma de organização exige uma quantidade diferente de componentes e efeitos na potência de saída. Na literatura isso é chamado de topologia. Um desses efeitos é o nível de tensão que se obtém na saída do inversor. Com o chaveamento em execução, a tensão de saída varia em determinados níveis. No inversor de dois níveis, ora a tensão de saída será máxima, ora a tensão será mínima. No de três níveis a tensão será máxima (P), zero(O) ou mínima (N), como mostra a figura 01.

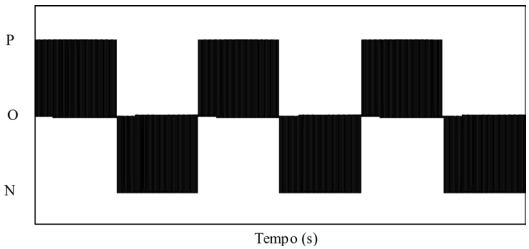


Figura 01 – Tensão na Carga do Inversor de Três Níveis

Fonte: Autor (2019).

O inversor de dois níveis é o mais comum e mais usado, devido ao fato de ser o primeiro inversor desenvolvido, utilizar poucos semicondutores e ser o mais básico construtivamente. Contudo, ele tem a desvantagem de utilizar semicondutores de alta potência, devido à tensão máxima reversa suportada pelo o mesmo quando se está em aberto, mesmo sendo usado para aplicações de baixa potência (DE OLIVEIRA., 2005).

Os inversores multiníveis são os inversores que possuem mais de dois níveis na tensão de saída e vêm com objetivo de diminuir essas desvantagens que o de dois níveis possui. As vantagens que os multiníveis têm sobre os de dois níveis são focadas na melhoria da potência de saída e qualidade do sinal. Quanto maior o número de níveis do inversor, melhor a forma de onda da saída e menor a distorção harmônica total (THD). As pesquisas mostram também um equilíbrio maior da ondulação da corrente da saída (CELANOVIC; BOROYEVICH, 2001; SAEEDIFARD; IRAVANI; POU, 2007).

Duas das topologias mais comuns dos inversores são Ponto Neutro Grampeado (NPC) e o Ponte H em Cascata (HB). O NPC foi apresentado pela primeira vez por A. Nabae, I. Takahashi e H. Akagi em 1981 (NABAE; TAKAHASHI; AKAGI, 1981). Essa topologia de inversor foi baseada no inversor de dois níveis, sendo acrescentado dois semicondutores em cada fase e sendo controlado por modulação de largura de pulso (PWM). A Figura 02 nos mostra um inversor NPC de três níveis e um inversor de dois níveis, ambos monofásicos.

O inversor HB (Figura 03) surgiu em 1992 por M. Marchesoni, M. Mazzucchelli e S. Tencon. Tais topologias têm características diferentes entre si, como número de componentes, modularidade PWM, eficiência, qualidade do sinal de saída, THD, perda por estresse térmico e tolerância a falhas. Dependendo da aplicação, a topologia dos inversores multiníveis pode ser definida levando em consideração esses fatores.

Na literatura podemos encontrar trabalhos que analisam o desempenho dos inversores com base nas perdas de condução e chaveamento. No entanto, a análise com base no estresse térmico não está bem difundida. Neste artigo discutiremos os resultados e características obtidos por simulação do inversor de três níveis para as topologias NPC e HB.

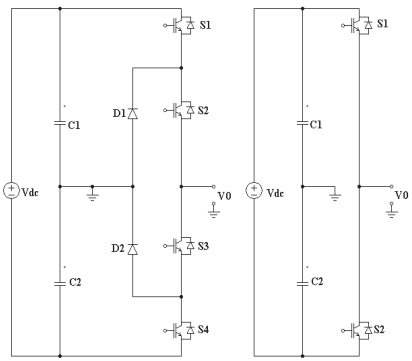


Figura 02 – Inversor de três níveis, NPC e inversor de dois níveis, respectivamente.

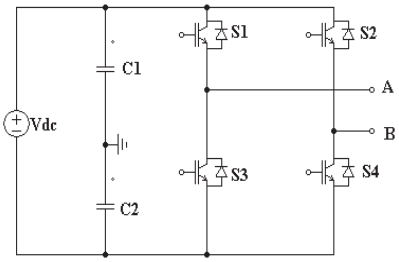


Figura 03 – Inversor multinível HB.

2 I REFERENCIAL TEÓRICO

A comparação dos inversores se baseia nos níveis de tensão, consequentemente de corrente e potência, na qualidade de energia, eficiência e confiabilidade. Além dessas características o número de componentes é um aspecto que impacta em alguns dados de desempenho. Neste tópico será apresentado as topologias NPC e HB.

2.1 O Inversor NPC

O inversor NPC (ver figura 02) foi proposto por Nabae em 1981 (NABAE; TAKAHASHI; AKAGI, 1981). O inversor possui 4 chaves ativas e 2 diodos. O barramento CC é dividido com dois capacitores, cuja tensão de cada um é da metade da tensão total do barramento.

Quando se utiliza uma única fonte, o equilíbrio da tensão nos capacitores do NPC é um problema relevante, especialmente nos inversores com maior número de níveis, porque o fluxo de potência ativa tende a desbalancear a tensão nos capacitores (ANDRADE et al., 2012)(OLIVEIRA; CORREA, 2012).

A tabela 01 apresenta os estados de chaveamento para o inversor NPC. Para a

modulação deste inversor utilizou-se a técnica de modulação Level-Shift PWM (LS-PWM) (FRANQUELO et al., 2008).

Est	S1	S2	S3	S4	Vo (V)
0	0	0	1	1	-Vdc/2
1	0	1	1	0	0
2	1	1	0	0	Vdc/2

Tabela 01 – Estado de Chaveamento do Inversor NPC

A Figura 04 apresenta a estratégia PWM que se resume a comparação da tensão de referência com duas ondas triangulares. Considerando que Vdc = 100V, a comparação da senoide de referência (Vref = ~50V) com a triangular superior (varia entre 0V e 50V) define a modulação das chaves S1 e S3. Já a comparação com da tensão de referência com a triangular inferior (que varia entre -50 V e 0V) define o chaveamento das chaves S2 e S4.

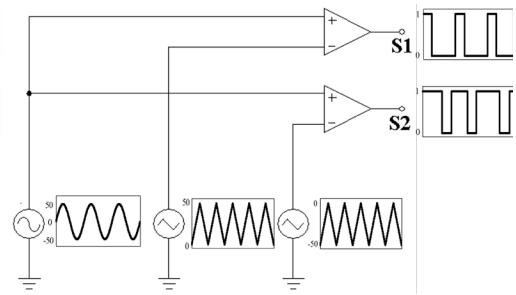


Figura 04 – Modulação PWM para o Inversor NPC

Fonte: Autor. (2019)

2.2 O Inversor HB

O inversor HB (ver figura 03), mais conhecido como ponte-H, possui apenas 4 chaves ativas e uma única fonte. A tensão de três níveis é obtida por meio do chaveamento adequado de suas chaves (OLIVEIRA; CORREA, 2012).

A tabela 02 apresenta os estados de chaveamento para o inversor HB. Para a modulação PWM do inversor foi utilizada duas tensões de referência e uma tensão triangular como portadora.

Cada tensão de referência é utilizada para modular a tensão de um braço. Buscando um maior aproveitamento da tensão de referência, a tensão de referência do braço A é defasada de 180° da tensão de referência do braço B. A figura 05 apresenta o esquema da

modulação.

Est	S1	S2	S3	S4	V_{AB} (V)
0	0	0	1	1	0
1	0	1	1	0	-Vdc/2
2	1	0	0	1	Vdc/2
3	1	1	0	0	0

Tabela 02 – Estado de Chaveamento do Inversor HB

Fonte: Autor (2019).

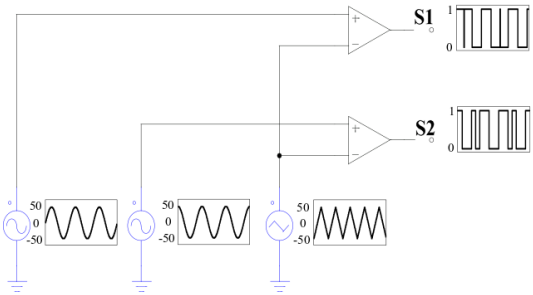


Figura 05 – Modulação PWM para o Inversor HB

Fonte: Autor. (2019)

3 I MÉTODO DA PESQUISA

A simulação foi realizada com base na variação do índice de modulação em amplitude (0,1 < ma < 1,0) em dois casos de carga. A carga 01 com o fator de potência de 0,5 e a Carga 2 com o fator de potência 0,75. Os valores da carga estão apresentados na tabela 03.

	R	L	fp
Carga 01	1,56 Ω	7,18 mH	0,5
Carga 02	3,52 Ω	8,224 mH	0,75

Tabela 03 – Cargas e seus respectivos valores de resistência e indutância

Fonte: Autor (2019).

4 I RESULTADOS

Os resultados obtidos foram avaliados com base em três aspectos, que são:

qualidade de energia; eficiência dos inversores e confiabilidade.

A figura 06 apresenta a forma de onda da corrente na carga na topologia HB e NPC com o índice de modulação 1,0 e com o COS 0,75.

A figura 07 apresenta a forma de onda da tensão na carga do HB e NPC com o índice de modulação 1,0 e com o COS 0,75.

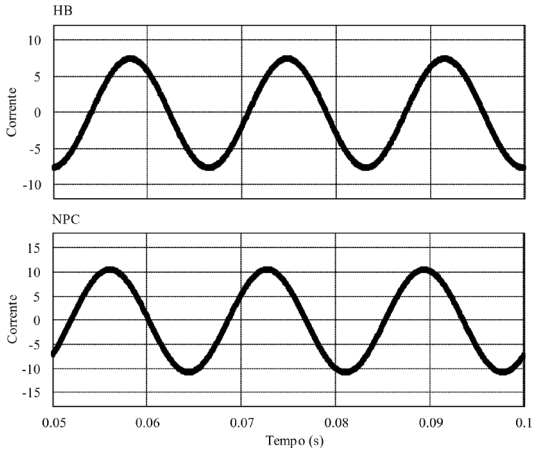


Figura 06 – Forma de onda da corrente do HB e NPC, ambos com COS 0,75.

Fonte: Autor. (2019)

4.1 Qualidade de energia

Para avaliar o desempenho dos inversores com base na qualidade de energia, é utilizada a Taxa de Distorção Harmônica. A Taxa de Distorção Harmônica (do inglês, Total Harmonic Distortion - THD) é um critério muito utilizado para definir o conteúdo harmônico de um sinal alternado. A THD é definida como:

$$THD\% = \frac{100}{V_1}\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2} \qquad (1)$$

A THD define o quanto que o sinal difere de uma onda senoidal pura. A presença de uma THD alta tem influência em vários pontos no estudo de inversores.

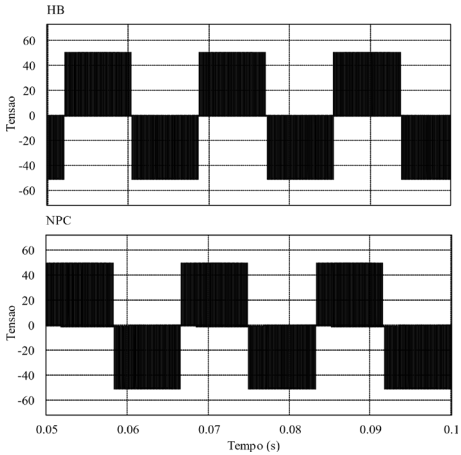


Figura 07 – Forma de onda da tensão do HB e NPC, ambos com COS 0,75

Fonte: Autor. (2019)

Primeiramente que a qualidade da energia diminui consideravelmente. Outro ponto em que a THD tem influência é no fator de potência, por isso a importância do cálculo da THD.

A figura 08 apresenta os resultados da simulação para a THD de corrente para as duas topologias nas duas condições de carga.

Observando a figura 09, percebe-se que a THD é maior com o fator de potência de 0,75 nas duas topologias apresentadas.

É interessante de perceber que durante o intervalo aproximado de 0,8 < índice de modulação < 1,0, o inversor HB possui maior THD. Quando o índice de modulação é igual a 1 a diferença do THD é de 61,5%. No intervalo de 0,1 < índice de modulação < 0,8, o NPC apresenta maior THD com uma diferença de 58,7% com o índice de modulação igual a 0,1.

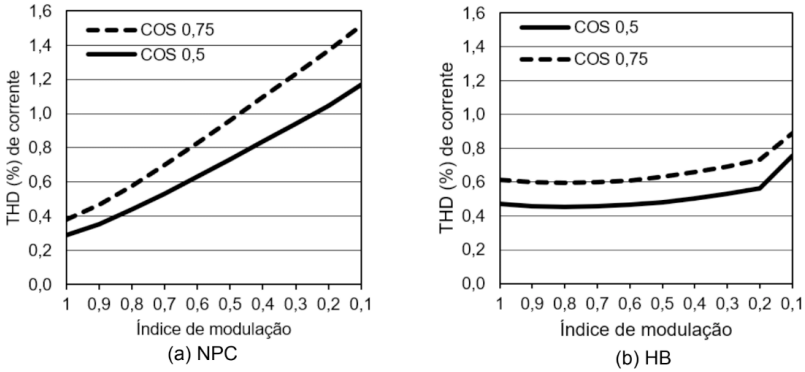


Figura 08 - THD de Corrente

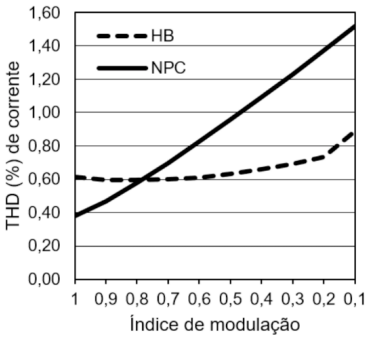


Figura 09 - THD dos inversores com COS 0,75

4.2 Eficiência dos inversores

Para calcular a eficiência dos inversores, serão analisadas as perdas por condução e chaveamento. Para diferentes topologias de inversores ou diferentes tipos de técnicas de modulação proposta, torna-se muito importante determinar as perdas de potência nos interruptores.

Entende-se por perdas totais o somatório das perdas por condução e perdas por chaveamento. Na figura 10 e 11 mostra o gráfico de perdas totais com COS 0,5 e COS 0,75 para as topologias NPC e HB, respectivamente.

Nas duas topologias percebemos a característica de que com um COS 0,5, há maiores perdas. Na figura 12 temos um comparativo com as duas topologias com o COS 0,5. O NPC possui maiores perdas que o HB, contudo a diferença de perdas entre as duas topologias diminui com a diminuição do índice de modulação.

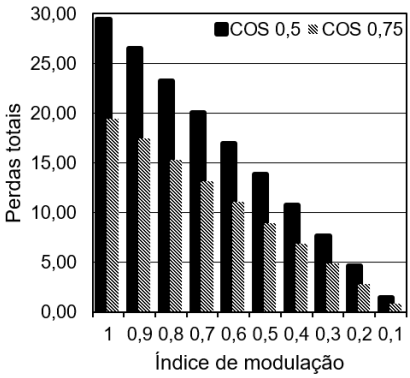


Figura 10 – Perdas totais do NPC

O aumento das perdas na topologia NPC se dá pelo fato de a topologia possuir 4 chaves e dois diodos, enquanto a topologia HB possui apenas quatro chaves.

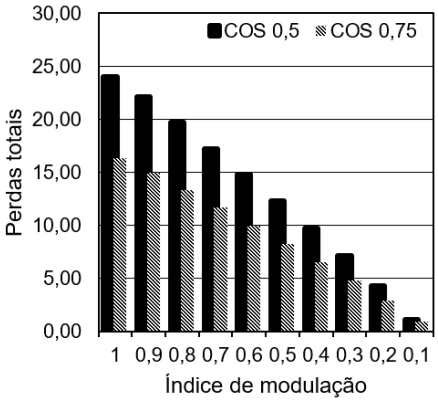


Figura 11 – Perdas totais do HB

Outro ponto importante de análise são as perdas de condução e de chaveamento apresentadas de forma separadas.

A figura 13 apresenta um comparativo das perdas de condução entre as topologias NPC e HB.

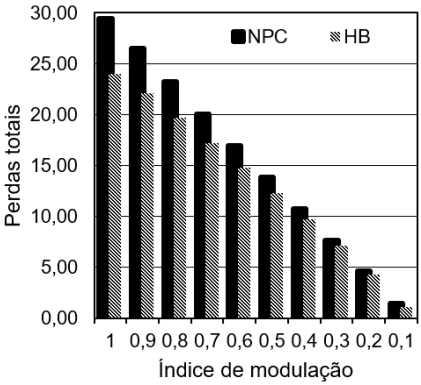


Figura 12 – Perdas totais dos inversores com COS 0,5

Pode-se perceber que as perdas por condução de na topologia NPC são maiores. Isso se dá pelo fato de a corrente no inversor NPC ser maior, como pode ser vista pela figura 06.

Em relação às perdas por chaveamento, pode-se perceber, pela figura 14, que as

maiores perdas estão na topologia HB. Isso se dá pelo fato de o chaveamento na chave desta topologia ser maior do que a topologia NPC, como pode ser visto pela figura 15.

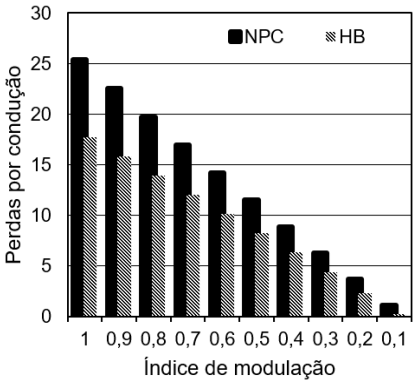


Figura 13 – Perdas por condução dos inversores com COS 0,5

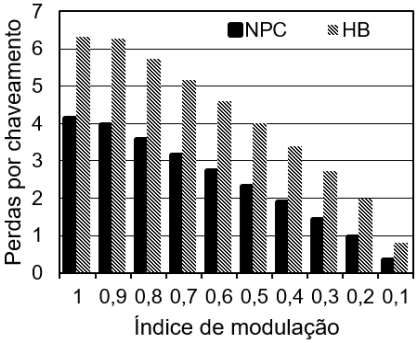


Figura 14 – Perdas por chaveamento dos inversores com COS 0,5

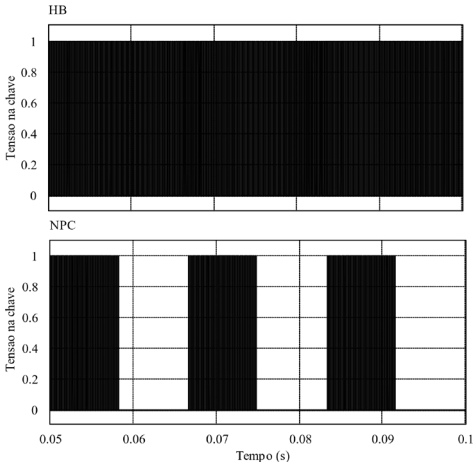


Figura 15 – Tensão na chave S1 de cada topologia

4.3 Confiabilidade dos inversores

A confiabilidade é caracterizada pelo estresse térmico do inversor, quanto menor for o estresse que ele sofre maior a confiabilidade do inversor. Considerando que os inversores estão cada vez mais sendo utilizados em uma grande diversidade de aplicações, a garantia da confiabilidade desse dispositivo se torna algo imprescindível.

Como indicador de confiabilidade, a tensão térmica é a variável mais adequada para avaliar os inversores de potência. De acordo com as estatísticas realizadas por (NAMI et al., 2011), a proporção de vários estresses causa falhas nos componentes eletrônicos,

entre os motivos, destaca-se o estresse térmico que é responsável por 55% das falhas nos componentes.

Nas figuras 16 e 17 vemos os resultados das simulações para o estresse térmico em cada topologia. A diferença de estresse térmico entre o COS 0,5 e COS 0,75 é pequena, com o estresse sendo maior para o COS 0,5, para todas as topologias.

Na figura 18 temos o pior caso para todas as topologias, que é com o COS 0,5, podendo-se ver que o estresse térmico das topologias é quase igual, tendo maior diferença com o índice de modulação entre 0,4 e 0,5.

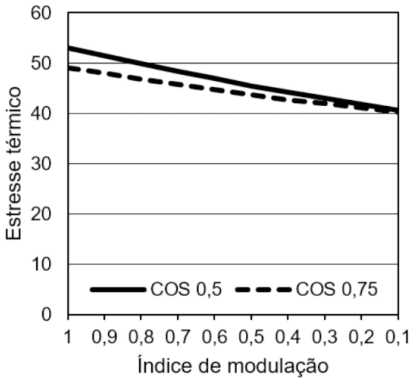


Figura 16 – Estresse térmico NPC

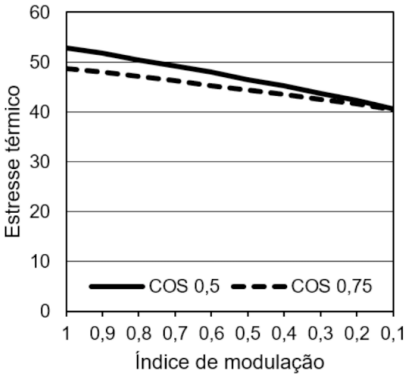


Figura 17 – estresse térmico HB

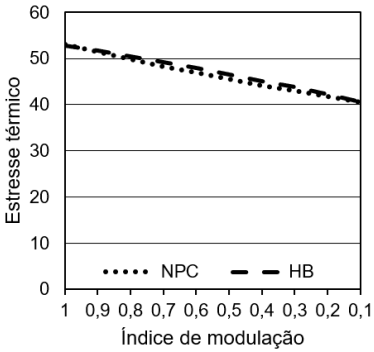


Figura 18 – estresse térmico dos inversores com COS 0,5

5 I CONCLUSÃO

Os inversores multiníveis são muito importantes para aplicação industrial. A depender de como a topologia é formada pode-se ter um inversor que tenha desempenho melhor na qualidade da energia, na eficiência e confiabilidade.

As topologias NPC e HB demostraram resultados aproximados no que diz respeito

ao estresse térmico. No entanto, pelo fato da topologia NPC possuir mais dispositivos teve uma eficiência menor que a topologia HB.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. S. et al. **Pulse width modulation for reduction of power losses in three-phase neutral point clamped inverters**. 2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2012. **Anais**...2012

CELANOVIC, N.; BOROYEVICH, D. A fast space-vector modulation algorithm for multilevel three-phase converters. **Industry Applications, IEEE Transactions on**, v. 37, n. 2, p. 637–641, 2001.

DE OLIVEIRA., A. S. **Estrategia Generalizada de Modulacao Por Largura de Pulso Para Inversores Multiniveis.** Campina Grande - Pb: Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Elétrica, ago. 2005.

FRANQUELO, L. G. et al. The age of multilevel converters arrives. **Industrial Electronics Magazine, IEEE**, v. 2, n. 2, p. 28–39, 2008.

NABAE, A.; TAKAHASHI, I.; AKAGI, H. A New Neutral-Point-Clamped PWM Inverter. **Industry Applications, IEEE Transactions on**, v. IA-17, n. 5, p. 518–523, 1981.

NAMI, A. et al. A Hybrid Cascade Converter Topology With Series-Connected Symmetrical and Asymmetrical Diode-Clamped H-Bridge Cells. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 26, n. 1, p. 51–65, jan. 2011.

OLIVEIRA, M. A. P.; CORREA, M. B. R. **Analysis of grid-tied single phase multilevel inverters powered by photovoltaic panels under partial shading conditions**. 2012 3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG). **Anais**...IEEE, jun. 2012

SAEEDIFARD, M.; IRAVANI, R.; POU, J. A space vector modulation approach for a back-to-back connected four-level converter. **PESC Record - IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference**, p. 2042–2049, 2007.

CAPÍTULO 3

VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LUMINÁRIAS LED NO SETOR INDUSTRIAL

Data de aceite: 04/01/2021
Data de submissão: 15/10/2020

Bruno Sousa de Castro
Universidade de Uberaba - UNIUBE
Uberaba – Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/5178566794502991

Antonio Manoel Batista da Silva
Universidade de Uberaba - UNIUBE
Uberaba – Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/5689405743755068

RESUMO: A iluminação do setor industrial apresenta um diferencial, pois o consumo de energia é de quarenta por cento. Com a troca das luminárias convencionais por luminárias LED foi possível verificar uma redução de 59,4% do consumo de energia e 21,8% da quantidade de luminárias, além de um PayBack inferior a 5 anos sobre o investimento. Por meio disto a iluminação Led apresenta tanto a viabilidade de implantação como benefícios para o setor industrial.
PALAVRAS-CHAVE: LED, Industrial, Iluminação, Viabilidade.

FEASIBILITY OF REPLACING THE CONVENTIONAL LUMINAIRES BY LED LUMINAIRES IN THE INDUSTRIAL SECTOR

ABSTRACT: The lighting of the Industrial sector has a differential since the energy consumption is of forty percent. With the exchange conventional lamps LED lamps, it was possible to verify a reduction of 59.4% of energy consumption and 21.8% of the number of installations besides a PayBack lower than 5 years on investment. Therefore, the LED lighting provides both the installation feasibility and industrial sector benefits.
KEYWORDS: LED, Industrial, Lighting, Viability.

1 I INTRODUÇÃO

O princípio do surgimento da iluminação inicia no período neolítico, há 7 mil anos atrás quando o Homo Erectus descobriu que ao esfregar dois gravetos ou friccionar duas pedras conseguia-se faíscas que geravam fogo, que por sua vez é fonte de calor e luz. Com o tempo o homem começou a aprimorar novas formas de produzir iluminação sem a necessidade de gerar fogo(Tudo, 2018) [6].

O início de produzir luz se iniciou no ano de 1580 por meio da utilização de velas, que eram utilizadas para iluminar teatros colocando em castiçais. A partir do ano de 1780 foi criado a primeira lâmpada a óleo, desenvolvida pelo químico suíço Aime Argant. Com o desenvolvimento da lâmpada a óleo foi desenvolvida a lâmpada a gás, que por meio desta foi criado uma mesa de controle do gás que controlava a luminosidade que a lâmpada emitia, em paralelo com a criação da lâmpada a gás, Thomas Drummond entre os anos de 1816 a 1890 desenvolveu o Lime Light que a emissão

da luminosidade era proveniente do cálcio, que por sua vez começavam a dar lugar as lâmpadas de arcos voltaicos. Com o desenvolvimento das lâmpadas de arco voltaico, criou-se um gerador dínamo, para realizar as ligações das lâmpadas, apresentando um brilho mais intenso e uma eficiência melhor. As modernas lâmpadas elétricas começaram a ganhar atenção no início do século XIX, onde Thomas Edison aperfeiçoa a primeira lâmpada incandescente. Com este passo inicial, entre os anos de 1906 a 1933 houve uma grande evolução das lâmpadas elétricas, que deram início a construção dos primeiros refletores e lâmpadas de alta potência (Iluminação, 2018) [3].

Com todo o desenvolvimento em relação a iluminação, surgiu em meados de 1907 uma descoberta pelo inglês Henry Joseph Round que matérias inorgânicas podem emitir luminosidade ao aplicar corrente elétrica, entretanto a descoberta foi esquecida devido o foco do desenvolvimento ser o novo sistema de orientação para o transporte marítimo dentre os anos de 1921 até 1942. A partir do ano de 2006 surge o primeiro diodo com capacidade de gerar 100 lumens por watts, contudo apresenta algumas restrições. Com a pesquisa voltada para a iluminação LED em alta foi produzido diodos com eficiência gigantesca de 250 lumens por watts, com evolução da iluminação Led, as luminárias apresentam maior sustentabilidade, economia de consumo e vida útil maior que a convencional, sendo assim é a iluminação do futuro (Ledvance, 2018) [4].

As indústrias atualmente buscam gerar mais sustentabilidade, por meio desta visão, a implantação de luminárias LEDs e uma solução, portanto, para que as empresas possam investir é necessário um estudo de viabilidade minucioso, para demostrar a economia e os benefícios do Led na indústria. O objetivo do estudo é apresentar um comparativo entre a iluminação convencional pelo Led e apresentar um PayBack(retorno de investimento) de acordo com investimento de implantação das luminárias LEDs, além dos benefícios que o Led proporcionará a Indústria.

2 I FUNDAMENTOS PARA A INVESTIGAÇÃO

Nesta seção, aspectos de dimensionamento de luminárias e o orçamento para investimento são considerados. Ademais, as fundamentações para cálculos, a estratégia de condução do trabalho, bem como a forma de análise dos resultados são apresentadas.

2.1 Iluminação industrial

A iluminação industrial é um dos fatores aos quais muitas indústrias acabam esquecendo como influenciadores para economia e sustentabilidade. A indústria com iluminação adequada apresenta um diferencial, devido a melhor visibilidade nos setores. Os benefícios que a iluminação ideal pode gerar são a economia e prevenção com acidentes por luminosidade insuficiente. Com o intuito de melhorar a eficiência, as luminárias dimensionadas de forma correta geram estes benefícios. Por meio disto podem

ser realizados estudos para apresentar a melhor estratégia.

2.2 Estrutura para a investigação

Para apresentarmos uma estrutura de investigação devemos levar em consideração algumas informações que ajudaram na investigação.

2.2.1 Horas de consumo

De acordo com a Lei n° 8.631 e o Decreto n° 774 foi criado um sistema de tarifas que define a Hora de Ponta(HP) com duração de três horas consecutivas dentro do período das 17 às 22 horas, onde depende de cada concessionária, as HP foram estabelecidas devido o auto consumo de energia em horas específicos do dia, com o intuito de reduzir este consumo. A tarifa de energia e maior, podendo chegar 3 vezes mais que a HFP. No estudo apresentado os horários definidos são das 18 às 21 horas como HP. As horas restantes são consideradas como Horas Fora de Ponta(HFP) onde o consumo de energia é distribuído de forma a não sobrecarregar o Sistema Interligado Nacional(SIN).(Franco,1993) [2].

2.2.2 Contrato de venda de energia

Com a cogeração das termoelétricas por biomassa do bagaço de cana de açúcar é necessário um contrato para venda de energia para a concessionária. De acordo com a Lei nº 13.299, de 21 de junho de 2016, dispõe valores do custo de acordo com a capacidade de geração da usina. O valor do contrato é utilizado para realização do cálculo de safra(Temer,2016) [5].

2.2.3 Safra e entressafra de uma indústria

Em usinas termoelétricas por biomassa da cana de açúcar, apresenta dois períodos: Safra e Entressafra. Os períodos de Safras são onde ocorre todo o processo de fabricação de produtos e subprodutos além da cogeração de energia elétrica. A safra costuma corresponder a maior parte do tempo de funcionamento da termoelétrica, com isso durante esse período e utilizado para fins de cálculo, como o período que a empresa poderia vender a energia que está sendo gasta. Para os cálculos de Entressafra e considerado as HP e HFP, pois neste período a empresa não gera energia para suprir sua necessidade, fazendo com que tenha que comprar da concessionaria. Neste período e feito a manutenção das indústrias.

2.2.4 Reatores das luminárias

As luminárias convencionais necessitam de reatores para seu funcionamento, porem na maioria das vezes eles são desprezíveis nos cálculos devido sua perda se baixa, entretanto, os reatores com o passar do tempo geram perdas maiores que o fabricado. Por meio disto os reatores devem ser levados em consideração pois apresentam perdas

que com o tempo são significativas. Principalmente no setor industrial onde as luminárias possuem altas potências e geram perdas significativas.

2.2.5 Luminárias leds

As luminárias LEDs são constituídas por Diodos Emissores de Luz, que apresentam melhor eficiência, robustez e alta duração de funcionamento.

2.3 Cálculos específicos para levantamento de dados

Para que a investigação seja realizada algumas fórmulas podem ser utilizadas.

2.3.1 Potência total

Para iniciar os estudos e necessário realizar o cálculo da potência instalada e posteriormente da potência a ser instalada. Para isso utilizamos a seguinte formula.

$$P_T = N_L x P_L \qquad (1)$$

Onde:

P_T → Potência Total

N_L → Quantidade de Luminárias

P_L → Potência das Luminárias

2.3.2 Consumo de energia total

O consumo de energia e calculado em função da potência instalada e das horas de funcionamento. Para os consumos de energia durante a entressafra e utilizado as seguintes fórmulas;

$$C_{T(HP)} = P_T x H_{HP} \qquad (2)$$

Onde:

$C_{T(HP)}$ → Consumo de Energia Horas de Ponta

P_T → Potência Total das Luminárias

H_{HP} → Horas de Ponta de Mensal

$$C_{T(HFP)} = P_T x H_{HFP} \qquad (3)$$

Onde:

$C_{T(HFP)}$ → Consumo de Energia Horas Fora de Ponta

P_T → Potência Total das Luminárias

H_{HFP} → Horas Fora de Ponta Mensal

O consumo de energia durante a safra e realizado pela soma dos consumos em HP e HFP.

$$C_T = C_{T(HP)} x C_{T(HFP)} \qquad (4)$$

Onde:

C_T → Consumo de Energia Total

$C_{T(HP)}$ → Consumo de Energia Horas de Ponta

$C_{T\ (HFP)}$ → Consumo de Energia Horas Fora de Ponta

2.3.3 Custo de energia(kWh)

Para realizar o custo de energia e considerado a seguintes fórmulas para a entressafra e utilizado:

$$E_{T(HP)} = C_{T(HP)} x Pr_{(HP)} \qquad (5)$$

Onde:

$E_{T(HP)}$ → Custo de Energia Total em Horas de Ponta

$C_{T(HP)}$ → Consumo de Energia em Horas de Ponta

$P_{r\ (HP)}$ → Preço do kWh das Horas de Ponta

$$E_{T(HFP)} = C_{T(HFP)} x Pr_{(HFP)} \qquad (6)$$

Onde:

$E_{T(HFP)}$ → Custo de Energia Total em Horas Fora de Ponta

$C_{T(HFP)}$ → Consumo de Energia em Horas Fora de Ponta

$P_{r\ (HFP)}$ → Preço do kWh das Horas Fora de Ponta

Para safra e utilizado o preço que foi definido em contrato com a concessionária.

$$E_T = C_T x Pr_C \qquad (7)$$

Onde:

E_T → Custo de Energia Total

C_T → Consumo de Energia Total

Pr_C → Preço do kWh definido em contrato

2.3.4 Cálculo de economia

O cálculo de Economia e feito em função da diferença do levantamento convencional versus previsto LED. Para realizar o cálculo utilizamos as seguintes fórmulas:

$$Ec_S = Cg_{T(SC)} - Cg_{T(SL)} \qquad (8)$$

Onde:

Ec_S → Economia Mensal Safra

$Cg_{T(SC)}$ → Custo Geral Total Safra Convencional

$Cg_{T(SL)}$ → Custo Geral Total Safra LED

$$Ec_{ES} = Cg_{T(ESC)} - Cg_{T(ESL)} \qquad (9)$$

Onde:

Ec_{ES} → Economia Mensal Entressafra

$Cg_{T(ESC)}$ → Custo Geral Total Entressafra Convencional

$Cg_{T(ESL)}$ → Custo Geral Total Entressafra LED

A Economia anual utiliza a seguinte fórmula:

$$Ec_T = M_{ES} * EC_{ES} - M_S * EC_S \qquad (10)$$

Onde:

Ec_T → Economia Anual

M_{ES} → Quantidade em Meses de Entressafra

Ec_{ES} → Economia Mensal Entressafra

M_S → Quantidade em Meses de Safra

Ec_S → Economia Mensal Safra

2.3.5 Cálculo de viabilidade

O cálculo de viabilidade e realizado utilizando a seguinte formula:

$$PB = I_T / Ec_T \qquad (11)$$

Onde:

PB → Retorno de Investimento em Anos

I_T → Investimento Total

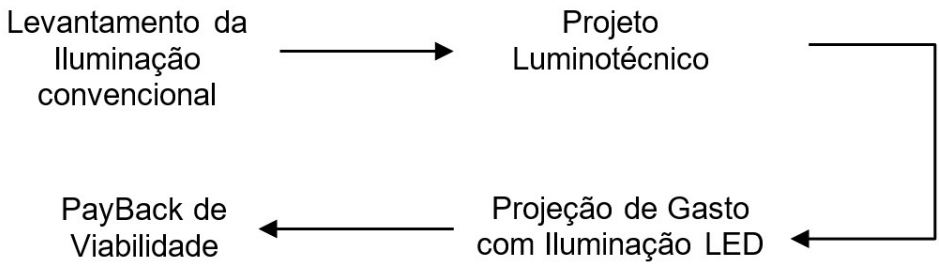
Ec_T → Economia Anual

2.4 Análise das informações

O método de análise dos dados para verificar a viabilidade se dá por meio do cálculo da fórmula 11, onde se o resultado obtido estiver abaixo de 5 o investimento e eficiente, entretanto, se o resultado for maior que 5 e menor que 10 o retorno apresentará viabilidade porém com um retorno menor que o esperado, e se o resultado for maior que 10 o projeto

não apresentará viabilidade.

Como o intuito de seguir os passos segue um esquema que deve ser seguido.



3 I RESULTADOS

Os dados coletados foram de uma indústria da região do triângulo mineiro, com apuração das informações de safra e entressafra 2017-2018 com duração de um ano. Os dados compilados são divididos em 4 etapas: 1º etapa – Levantamento de Informações e Despesas com Iluminação Convencional; 2º etapa – Projeto Luminotécnico; 3º etapa – Projeção de Despesas com Iluminação LED; 4º etapa – Viabilidade de PayBack.

3.1 Etapa 1: Levantamento de informações e despesas com iluminação convencional

Nesta parte, e apresentado a potência instalada no setor da indústria ao qual foi escolhido. Na Tabela 1 os dados são apresentados.

Descrição	Quantidade de Luminarias	Potência da Luminaria (W)	Potência Total (kW)
Luminaria Vapor Metálico 250W	28	270	7,56
Luminaria Fluorescente Tubular 20W	5	43,2	0,216
Refletor Vapor Metálico 400W	8	432	3,456
Luminaria Fluorescente Tubular 40W	16	82	1,312
Luminarias Vapor de Sódio 400W	144	432	62,208
Total	**201**		**74,752**

Tabela 1- Potência instalada no setor.

Com as informações apresentadas acima e possível calcular o consumo de energia mensal, considerando Horas de Ponta e Horas Fora de Ponta, para Entressafra. Na Tabela 2 e Tabela 3 e possível verificar o proposto:

Descrição	Potência Total (kW)	Hora de Ponta (horas)	Consumo de Energia (kW/h)
Luminaria Vapor Metálico 250W	7,56	66	498,96
Luminaria Fluorescente Tubular 20W	0,216	66	14,256
Refletor Vapor Metálico 400W	3,456	66	228,096
Luminaria Fluorescente Tubular 40W	1,312	66	86,592
Luminarias Vapor de Sódio 400W	62,208	66	4105,728
Total	**74,752**		**4933,632**

Tabela 2 - Consumo de energia elétrica mensal em Hora de Ponta.

Descrição	Potência Total (kW)	Hora Fora de Ponta (horas)	Consumo de Energia (kW/h)
Luminaria Vapor Metálico 250W	7,56	294	2222,64
Luminaria Fluorescente Tubular 20W	0,216	294	63,504
Refletor Vapor Metálico 400W	3,456	294	1016,064
Luminaria Fluorescente Tubular 40W	1,312	294	385,728
Luminarias Vapor de Sódio 400W	62,208	654	40684,032
Total	**74,752**		**44371,968**

Tabela 3 - Consumo de energia elétrica mensal em Hora Fora de Ponta.

Com os dados de Entressafra é realizado o cálculo de energia gasta durante a entressafra. Considerando o preço médio para HP e HFP como mostra a Tabela 4 a seguir.

	Consumo Total de Energia (kW/h)	Preço Médio do KW/h (R$)	Duração (Meses)	Gasto de Energia (R$)	
Horas de Ponta	4933,632	0,49606647	3,50	R$	8.565,93
Horas Fora de Ponta	44371,968	0,338317651	3,50	R$	52.541,37
Total	**49305,6**			**R$**	**61.107,30**

Tabela 4 - Gasto de energia elétrica no período de entressafra.

Com base no consumo mensal(HP+HFP) e possível calcular o gasto de energia durante a safra. Considerando o preço do contrato de energia como mostra a Tabela 5 a seguir.

	Consumo Total de Energia (MW/h)	Preço do MW/h (R$)	Duração (Meses)	Gasto de Energia (R$)	
Safra	49,3056	200	8,50	R$	83.819,52

Tabela 5 - Gasto de energia elétrica no período de safra.

A próxima compilação das informações são os gasto com manutenção, materiais e descarte de lâmpadas. Na Tabela 6 a seguir se os dados compilados durante a safra.

	Custo (R$)	duração (Mensal)	Gasto Total (R$)	
Manutenção	21,09	8,5	R$	179,27
Materiais	210,81	8,5	R$	1.791,89
Descarte de Lâmpadas	1,22	8,5	R$	10,37
Total			**R$**	**1.981,52**

Tabela 6 - Gasto com manutenção, materiais e descarte de luminarias.

3.2 Etapa 2: Projeto luminotécnico

O levantamento do projeto luminotécnico para aplicação LED apresentou as seguintes luminárias para substituição. Na Tabela 7 a seguir estão os dados da iluminação considerados de acordo com o projeto do setor de estudo.

Descrição
Luminaria Industrial LED Arandela 30º - 94W
Luminaria Industrial LED Arandela 30º - 31W
Projetor LED 207W
Luminaria Industrial LED Plafonier - 31W
Luminaria Industrial LED Suporte para poste 30º - 31W
Luminaria Comercial LED 36W
Projetor LED-EX 48W
Projetor LED 270W

Tabela 7 - Potência instalada no setor.

Por meio destas luminárias que foram definidas de acordo com o projeto luminotécnico, podemos fazer uma projeção de custos com a implantação LED.

3.3 Etapa 3: Projeção de despesas com iluminação led

A etapa de realização e levantar uma projeção de gastos futuros com as luminárias LED implantadas. Por meio disto a Tabela 8 a seguir apresenta a potência a ser instalada.

Descrição	Quantidade de Luminarias	Potência da Luminaria (W)	Potência Total (kW)
Luminaria Industrial LED Arandela 30º - 94W	17	94	1,598
Luminaria Industrial LED Arandela 30º - 31W	9	31	0,279
Projetor LED 207W	8	207	1,656
Luminaria Industrial LED Plafonier - 31W	3	31	0,093
Luminaria Industrial LED Suporte para poste 30º - 31W	1	31	0,031
Luminaria Comercial LED 36W	13	36	0,468
Projetor LED-EX 48W	10	48	0,48
Projetor LED 270W	96	270	25,92
Total	**157**		**30,525**

Tabela 8 - Projeção de Potência LED instalada no setor.

Com os cálculos de potência LED instalada podemos realizar os cálculos de consumo de energia. Na Tabela 9 e Tabela 10 está expresso o consumo de energia mensal em Horas de Ponta e Horas Fora de Ponta.

Descrição	Potência Total (kW)	Hora de Ponta (horas)	Consumo de Energia (kW/h)
Luminaria Industrial LED Arandela 30º - 94W	1,598	66	105,468
Luminaria Industrial LED Arandela 30º - 31W	0,279	66	18,414
Projetor LED 207W	1,656	66	109,296
Luminaria Industrial LED Plafonier - 31W	0,093	66	6,138
Luminaria Industrial LED Suporte para poste 30º - 31W	0,031	66	2,046
Luminaria Comercial LED 36W	0,468	66	30,888
Projetor LED-EX 48W	0,48	66	31,68
Projetor LED 270W	25,92	66	1710,72
Total	**30,525**		**2014,65**

Tabela 9 - Consumo de energia elétrica mensal em Hora de Ponta LED.

Descrição	Potência Total (kW)	Hora Fora de Ponta (horas)	Consumo de Energia (kW/h)
Luminaria Industrial LED Arandela 30º - 94W	1,598	294	469,812
Luminaria Industrial LED Arandela 30º - 31W	0,279	294	82,026
Projetor LED 207W	1,656	294	486,864
Luminaria Industrial LED Plafonier - 31W	0,093	294	27,342
Luminaria Industrial LED Suporte para poste 30º - 31W	0,031	294	9,114
Luminaria Comercial LED 36W	0,468	294	137,592
Projetor LED-EX 48W	0,48	294	141,12
Projetor LED 270W	25,92	654	16951,68
Total	**30,525**		**18305,55**

Tabela 10 - Consumo de energia elétrica mensal em Hora Fora de Ponta LED.

Considerando os mesmos preços médios de HP e HFP para entressafra, na Tabela

11 e apresentado os gastos.

	Consumo Total de Energia (kW/h)	Preço Médio do KW/h (R$)	Duração (Meses)	Gasto de Energia (R$)	
Horas de Ponta	2014,65	0,49606647	3,50	R$	3.497,90
Horas Fora de Ponta	18305,55	0,338317651	3,50	R$	21.675,82
Total	**20320,2**			**R$**	**25.173,72**

Tabela 11 - Gasto de energia elétrica LED no período de entressafra.

A seguir na Tabela 12 e apresentado os gastos com energia durante a safra considerando o prelo de contrato com a concessionaria.

	Consumo Total de Energia (MW/h)	Preço do MW/h (R$)	Duração (Meses)	Gasto de Energia (R$)	
Safra	20,3202	200	8,50	R$	34.544,34

Tabela 12 - Gasto de energia elétrica LED no período de safra.

Os custos com manutenção, matérias e descarte para a implantação foram desconsiderados, devido a cotação para a realização do PayBack se tornou desprezível devido a durabilidade da luminária e benefícios oferecidos pela empresa a qual foi feito levantamento para apresentar viabilidade da implantação.

3.4 Etapa 4: Viabilidade de payback

Com todos os dadas as informações compiladas podemos realizar os cálculos de viabilidade de implantação. Na Tabela 13 a seguir e apresentado uma comparação entre a iluminação convencional e LED.

Descrição	Iluminação Convencional	Iluminação LED
Quantidade de luminarias	201	157
Potência Instalada (kW)	74,752	30,525
Consumo de Energia (kW/h)	49305,6	20320,2

Tabela 13 - Comparação de iluminação Convencional X LED.

Na Tabela 13 podemos comprovar que houve uma redução de aproximadamente

59,2% da potência instalada, além de uma redução de aproximadamente 21,9% da quantidade de luminárias instaladas. Na Tabela 14 e apresentado a comparação de custos entre iluminação convencional e LED.

	Iluminação Convencional	Iluminação LED
Entressafra		
Gasto de Energia Horas de Ponta	R$ 8.565,93	R$ 3.497,90
Gasto de Energia Horas Fora de Ponta	R$ 52.541,37	R$ 21.675,82
Safra		
Gasto de Energia por contrato	R$ 83.819,52	R$ 34.544,34
Gasto com Manutenção, Material e Descarte	R$ 1.981,52	R$ -
Total	**R$ 146.908,34**	**R$ 59.718,06**

Tabela 14 - Comparação de custos de iluminação Convencional X LED.

Na Tabela 14 e apresentado uma economia anual de aproximadamente 59,4%.

Para apresentar a viabilidade do estudo em questão, foi levantando um orçamento de implantação, onde foram considerados as luminárias, os custos com maquinários e mão de obra. Na Tabela 15 está apresentado os custos da implantação.

	Custo (R$)
Orçamento das Luminarias LED	R$ 191.756,36
Custo de Maquinarios	R$ 30.000,00
Mão de Obra	R$ 40.000,00
Total	**R$ 261.756,36**

Tabela 15 - Investimento para implantação LED.

Por meio dos valores em questão e realizado os cálculos de PayBack. Na Gráfico 1 será apresentado os cálculos, onde como comprovado na Tabela 14 a economia anual e de R$ 87.190,28 (oitenta e sete mil cento e noventa reais e vinte e oito centavos) será considerado como economia anual.

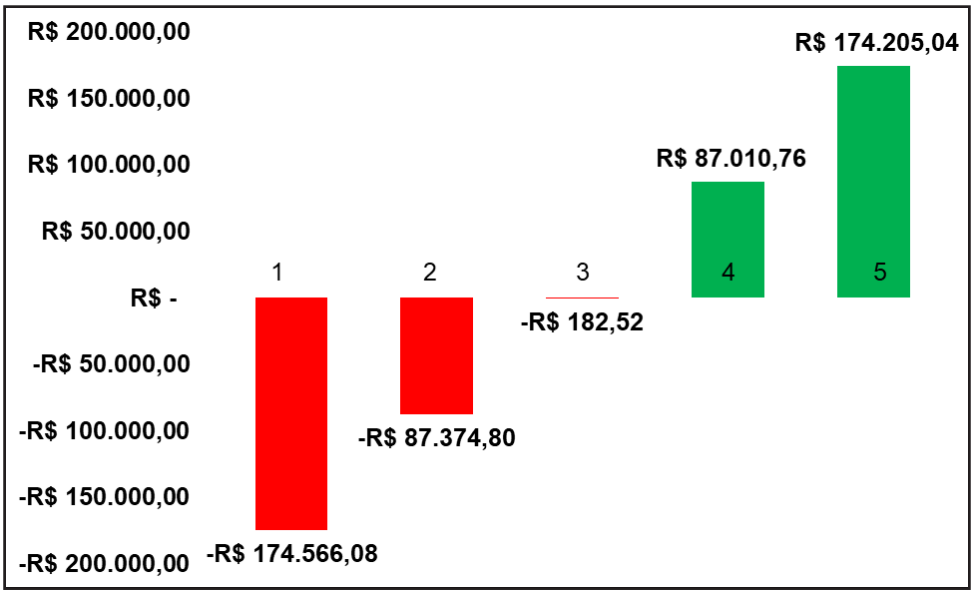


Gráfico 1 – PayBack em 5 anos.

4 I DISCUSSÃO

Para a atender o estudo de viabilidade os métodos são realizados de forma simples, que atende a todos os requisitos necessários para apresentar dados concisos. de acordo com Calegari, 2017 apresenta metodologia simples para realizar os cálculos de viabilidade. Além de apresentar que o setor industrial apresenta uma porcentagem relevante do consumo de energia elétrica, considerando que a iluminação e dos fatores aos quais são deixados de lados, por ser simples e desprezíveis, porém podem apresentar um gasto expressivo devido a quantidade.

Por meio dos métodos apresentados na tese os resultados podem ser validados, mostrando que seguindo todos os passos e realizando os cálculos corretamente. Podemos verificar que os cálculos apresentaram gastos razoáveis devido ser apenas da iluminação e de apenas um setor da industrial. Ao analisar os dados e possível verificar que com a implantação LED e houve uma redução de aproximadamente 59% do consumo de energia elétrica, além de apresentar uma redução aproximadamente 22% da quantidade de luminárias. Por meio disto houve uma economia anual de aproximadamente 87 mil reais que e significativa.

A viabilidade foi possível devido os seguintes fatores. A empresa de levantamento do investimento apresentou benefícios onde abaixo de 5 anos os custos com troca de matérias e manutenção são depressíveis, além de produtos de alta durabilidade e qualidade. Podemos observar que com a implantação LED os benefícios gerados para a indústria são: Iluminação adequada e eficiente; redução de acidentes devido a iluminação

ineficiente; redução de mão de obra com manutenção; Redução com Gasto de Energia e um espelho significativo no aumento da produção, onde um lugar bem iluminado gerar uma percepção melhor.

5 I CONCLUSÃO

A viabilidade de implantação de iluminação LED em um setor industrial se mostrou viável com um retorno de investimento de aproximadamente 3 anos após a implantação.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece o apoio recebido de todos os Docentes da Instituição UNIUBE e seus colegas de Graduação.

REFERÊNCIAS

[1] Calegari, Raphael; **Como funciona o Sistemas de Iluminação na Indústria?** ;Disponível em: <http://blog.murrelektronik.com.br/sistemas-de-iluminacao-na-industria/ > Acesso em 16 de novembro de 2019.

[2] Franco, Itamar; RESENDE, Eliseu; VASCNSELOS, Paulino Cícero de; CRUSIUS, Yeda Rorato; Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/D0774.htm >. Acesso em 16 de novembro de 2019.

[3] Iluminação, Laboratório de; **História da Iluminação:** Primeiros Instrumentos; Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/slides/slides_diciplina_ar_210_b/primeiros_instrumentos.pdf>. Acesso em 07 de outubro de 2019.

[4] Ledvance; **A história do LED**; Disponível em: <https://www.ledvance.pt/produtos/conhecimentos-sobre-o-produto/nocoes-basicas-do-led/historia-do-led/index.jsp>. Acesso em 06 de outubro de 2019.

[5] Temer, Michel; Meirelles, Henrique; Filho, Fernando Coelho; Oliveira, Dyogo Henrique de; Osório, Fábio Medina ; Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13299.htm >. Acesso em 16 de novembro de 2019.

[6] Tudo, 10 em; **O descobrimento do fogo**; Disponível em: <https://www.10emtudo.com.br/artigo/o-descobrimento-do-fogo/>. Acesso em 21 de novembro de 2018.

CAPÍTULO 4

PROJETO PARA ELABORAÇÃO DE UMA PEN PLOTTER

Data de aceite: 04/01/2021

Rafael Ferreira da Silva
Centro Universitário União das Américas – Uniamérica
Foz do Iguaçu, Paraná
http://lattes.cnpq.br/7898337334370742

Welton Abreu Rosa
Centro Universitário União das Américas – Uniamérica
Foz do Iguaçu, Paraná
http://lattes.cnpq.br/6057660697254416

Luciana Paro Scarin Freitas
Centro Universitário Comunitário União das Américas – UniAmérica
Foz do Iguaçu-PR
http://lattes.cnpq.br/2554057558293125

Jorge Luis Ribeiro dos Santos Júnior
Centro Universitário Comunitário União das Américas – UniAmérica
Foz do Iguaçu-PR
http://lattes.cnpq.br/0033807609839899

Luís Henrique Chouay Dall'Agnese
Centro Universitário União das Américas – Uniamérica
Foz do Iguaçu, Paraná
http://lattes.cnpq.br/1502220513099067

Grégori da Cruz Balestra
Centro Universitário Comunitário União das Américas – UniAmérica
Foz do Iguaçu-PR
http://lattes.cnpq.br/8659424533812354

RESUMO: Quando pensamos em precisão e agilidade, lembramos de máquinas controladas por computadores, essas máquinas denominadas CNC podem executar trabalhos com alta precisão, a PenPlotter uma impressora CNC é capaz de escrever qual quer tipo de caligrafia e a plotagem de desenhos. Ela é movida por 2 nemas instalados com uma polia dentada e um servo motor para movimento da caneta, através dos vetores gerados pelo software inkscap a impressora realiza os movimentos necessários para a plotagem. No mercado atual existem diversos tipos de PenPlotter com uma variedade de modelos, materiais e softwares, através de uma seleção escolhemos o que melhor se enquadra em nosso projeto. Esse projeto apresenta a construção e o funcionamento de uma PenPlotter.

PALAVRAS-CHAVE: PenPlotter; CNC; Precisão.

ABSTRACT: When we think of precision and agility, we remember machines controlled by computers, these machines called CNC can perform jobs with high precision, the PenPlotter is a CNC printer capable of writing any type of calligraphy and plotting drawings. It is moved by 2 nemas installed with a toothed pulley and a servo motor for movement of the pen, through the vectors generated by the inkscap software the printer performs the necessary movements for the plotting. In the current market there are several types of PenPlotter with a variety of models, materials and software, through a selection we choose the one that best fits our project. This project presents the construction and operation of a PenPlotter.

KEYWORDS: PenPlotter; CNC; Precision.

1 I INTRODUÇÃO

No mundo atual globalizado, o requisito básico de qualquer indústria é produzir grandes quantidades de produtos de qualidade com baixa perca de material, baixo custo de instalação, com alto acabamento superficial e grande precisão dimensional. Isto pode ser conseguido através de máquinas operadas por computadores. Eles são basicamente conhecidos como máquinas CNC. Segundo o site MecanicaIndustrial "As máquinas CNC são máquinas automatizadas que funcionam por meio de sistemas CNC, ou seja, por Controle Numérico Computadorizado. Isso significa que as máquinas controladas por sistemas CNC são muito mais rápidas em processos de produção"

Utilizando este tipo de máquina, os produtos são produzidos em uma taxa mais rápida com alta precisão e menos interferência humana. Os sistemas de CNCs mais utilizadas são os de dois eixos e de três eixos.

Este sistema consiste em três partes importantes: Projeto mecânico, módulos de acionamento e softwares de controle.

- O projeto mecânico consiste no corpo estrutural;
- Os módulos de unidade consistem no microprocessador;
- E o Software do Sistema é usado para gerar o desenho na folha.

A PenPlotter é a automação de máquinas que são operadas por comandos precisamente programados. O principal objetivo de uma Plotter CNC está voltado para a leitura de vários vetores de produtos. O princípio de funcionamento é muito semelhante à de uma máquina CNC. Nesse sistema, o operador humano não executa manualmente o processo de desenhar os vetores, a máquina, portando uma caneta e um servo motor para acionamento em seu eixo Z, através de um controle programado, produz um trabalho de alta qualidade e maior agilidade em comparação com o trabalho humano.

2 I MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados foram coletados através da análise e estudo de artigos científicos referentes ao produto, assim como em referências dos fabricantes, onde contém informações detalhadas do projeto e datasheet dos motores. Com os dados dos artigos disponibilizados, foi possível realizar um comparativo entre vários destes, onde através de anotações de cada artigo, possibilitou adquirir informações necessárias para a produção de um produto com qualidade e funcionalidade.

2.1 Memorial de cálculos

Para o correto funcionamento dos motores de passo, o software precisa das seguintes especificações dos motores:

Passos que cada eixo realiza:

- Eixo X: $ 100=775.000 (x, step/mm)
- Eixo Y: $ 101=367.000 (y, step/mm)
- Eixo Z: $ 102=250.000 (z, step/mm)

Aceleração de cada eixo:

- Eixo X: $120=10.000 (x accel, mm/sec^2)
- Eixo Y: $121=10.000 (y accel, mm/sec^2)
- Eixo Z: $122=10.000 (z accel, mm/sec^2)

Limite máximo de cada eixo:

- Eixo X: $130=400.000 (x max travel,mm)
- Eixo Y: $131=300.000 (y max travel,mm)
- Eixo Z: $132=200.000 (z max travel,mm)

2.2 Modelagem

O seguinte projeto é composto por um conjunto de equipamentos mecânicos e eletrônicos:

- A base estrutural desta máquina consiste no posicionamento paralelo de duas barras roscadas M10 (650mm de comprimento cada), com porca e contra porca, exigindo uma quantidade de oito porcas.
- A base de movimentação do projeto é composta por quatro barras lisas de 8 mm (duas de 650 mm de comprimento e duas de 900 mm de comprimento), onde duas destas (900mm) estão posicionadas em sentido ao eixo X e as outras duas (650mm), posicionadas em sentido ao eixo Y, suportadas pelos suportes dos Nemas 17 Steppers e suporte do servo motor.
- O carro de movimentação foi projetado e impresso em uma impressora 3D com filamento ABS, para comportar as travas das correias GT2, assim como oito LM8UU (rolamentos lineares) e servir como guia para as posições do eixo Z.
- Para o mecanismo de movimentação dos eixos X e Y, foram utilizados 2 nemas 17 Steppers instalados com uma polia dentada, GT2 com 20 dentes, em cada eixo do motor, onde para a movimentação do carro, elas são interligadas por correias dentadas, fixadas no carro central.

- O sistema de impressão é constituído por dois tubos de 4mm, com 100mm de comprimento, fixados ao suporte para um micro servo SG90 (mais um extensor de cabo de 250 mm), onde ao eixo do micro servo está instalado com um suporte ajustavel para canetas.

- O controle eletrônico escolhido para os componentes foi o Arduino UNO, onde o mesmo recebe o código G do computador, converte em informações para os motores e micro servos motores, utilizando uma CNCshield. Para os motores Nemas 17, utilizase dois Drivers A4988 conectados a CNCshield, e para o micro servo, utiliza-se uma porta padrão do Arduino.

- A alimentação do circuito do projeto se baseia em um acionamento por fonte de alimentação 12v – 2A.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema trabalha basicamente com dois motores de passo (um para o eixo X e um para o eixo Y) e micro-servo-controlador (para o eixo Z). Onde o circuito Arduino recebe a programação para a funcionalidade de dimensionamento da área de atuação do plotter e também o comando de atuação dos motores. Através do software inkscap é colocado um desenho ou até mesmo textos e é gerado o G-CODE que através do programa grbl o g-code que avia sido criado se transforma em coordenadas para os eixos e assim são plotados na folha que está colocado na mesa de desenho usando microcontrolador. Este sistema reduz o esforço humano e também reduz as chances de erro.

Após uma detalhada análise de produtos similares existentes no mercado chegamos a conclusão que esse modelo seria a melhor opção para nosso projeto, por ter uma fácil construção e montagem de suas correias, como vemos na figura 1 abaixo:

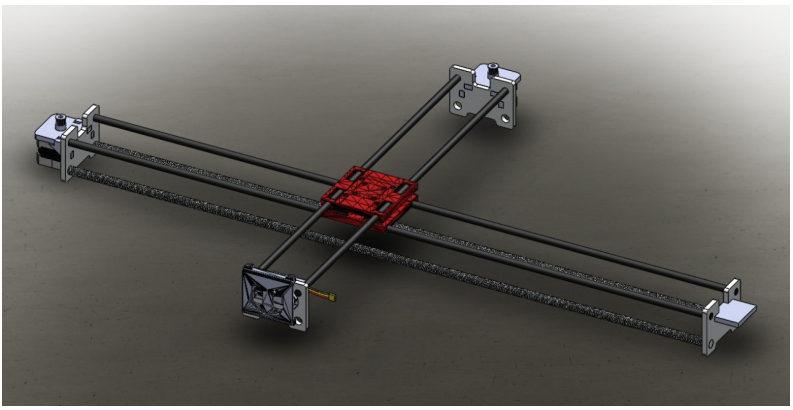


Figura 1 - Desenho da Pen Plotter no SolidWorks.

Fonte: Autoria própria

Esse modelo se destaca por usar apenas 1 motor de passo no eixo X e um Motor no Eixo Y, Diferente do esboço mostrado abaixo Feito por Smokevicz, Fabio; Araújo, Ricardo. Desenvolvimento de uma Plotter a caneta de baixo custo para escrita e desenho em superfícies planas - Joinville: Instituto Federal de Santa Catarina, 2017.

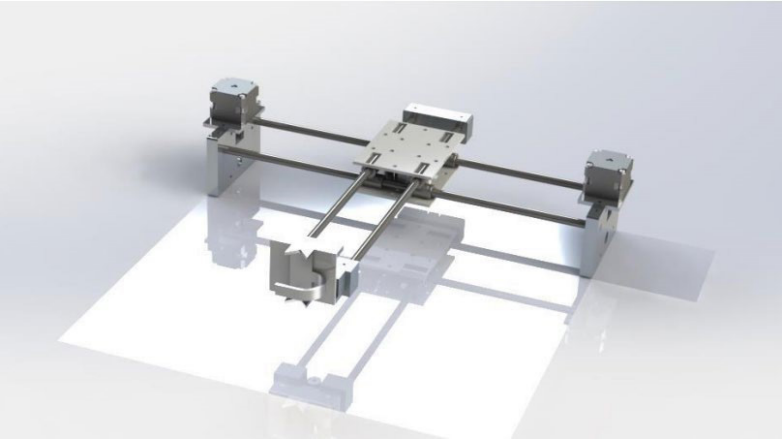


Figura 2 - Esboço da Plotter em SolidWorks

Fonte: Autoria própria

Abaixo podemos conferir nas Figuras 3 e 4 imagens reais do projeto após sua montagem.

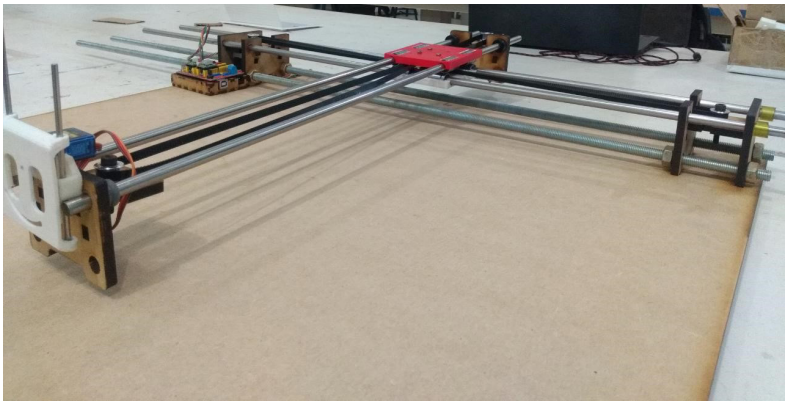


Figura 3 – Visão Lateral PenPlotter

Fonte: Autoria própria

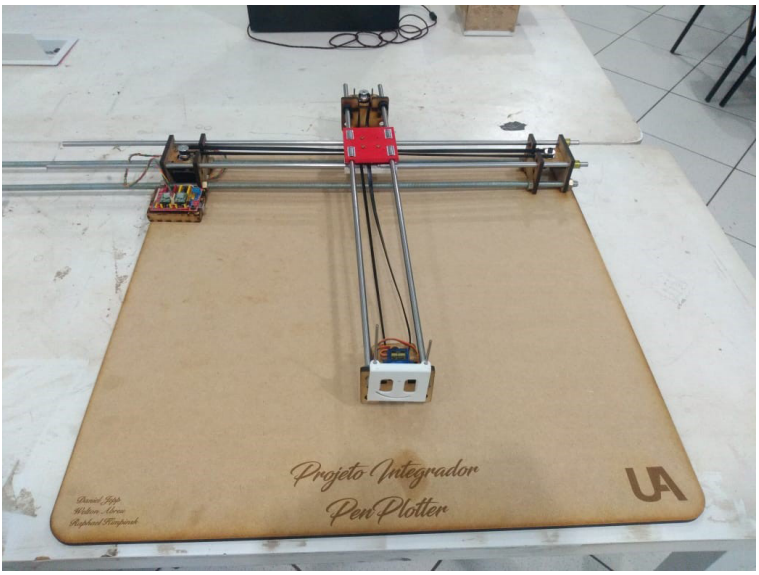


Figura 4 – Visão Geral PenPlotter

Fonte: Autoria própria

4 I CONCLUSÃO

Com a realização desse trabalho concluímos que com o objetivo de projetar e fabricar um projeto com funcionalidades precisas, exige o dimensionamento dos passos dos motores nemas, assim como alinhamento do código para funcionamento sincronizado de todo o sistema. Com a experiência do protótipo foi-se selecionado os programas mais adequados para a leitura do código g e acionamento dos motores, sendo assim, carregando uma quantidade de conhecimento teórico e prático ao projeto.

REFERÊNCIAS

BARANEK, Ivan; OMAMIK, Michal. Controle Metrológico de Tipos de Superfície Selecionados de uma Peça Mecânica Usando o Sistema de Medição em Máquina, 2011

BALIC, Joze. Unidade de Controle Numérico Computadorizado Inteligente para Máquinas- Ferramenta, 2000

JAIN, Dr.Sanjiv K; VERMA, Er. Sanjeev; Singh, Er. Manpreet; Uma revisão de literatura sobre usinagem de diferentes materiais com CNC, 2014

REDDY, R. et al. Ananda Fabricação de roteador CNC de baixo custo e 3 eixos, JUNHO, 2014

SHAHID, Kamal. Et al. Controlador Numérico de Computador de Baixo Custo Utilizando Software e Hardware Open Source, 2015

CAPÍTULO 5

DEPRECIAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS USANDO OS MÉTODOS LINHA, COLE, PERCENTAGEM CONSTANTE E CAIRES

Data de aceite: 04/01/2021
Data de submissão: 16/10/2020

Adalberto Gomes de Miranda
Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/0031798088948641

Jonhnny Jeyson da Costa Gandra
Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/6650822205840912

Adailza Aparício de Miranda
Secretaria de Educação e qualidade do Estado do Amazonas – SEDUC-AM
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/1899304563850380

Steven Frederick Durrant
Universidade Estadual Paulista - UNESP
Sorocaba – São Paulo
http://lattes.cnpq.br/5137862536106636

José Costa de Macêdo Neto
Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/7868540287547126

Adailson Aparício de Miranda
Faculdade Metropolitana de Manaus – FAMETRO
Manaus – Amazonas
http://lattes.cnpq.br/2950895821479216

RESUMO: Este artigo tem o objetivo de apresentar uma avaliação das máquinas e equipamentos de uma frota utilizando quatro métodos de depreciação, obtendo-se desta forma, o valor real de mercado, depreciação total da frota, identificação da quantidade de ativos sucateados, bem como prever os próximos ativos que atingirão o valor residual ou de sucata. A proposta foi motivada pelo conhecimento específico, em avaliação de máquinas e equipamentos, que o engenheiro de avaliação deve possuir e pela necessidade de se estabelecer o valor real de mercado, de modo a auxiliar na tomada de decisão em relação a destinação destes bens. Esta proposta se deteve nos problemas relacionados a pesquisas e métodos inadequados para o estabelecimento dos valores reais para se avaliar os bens. A comparação destes métodos de depreciação pode acarretar obtenção de valores mais fidedignos dos ativos. Os métodos empregados contemplam a vida útil, vida aparente e valor de aquisição dos ativos como parâmetro. Os resultados indicam que a comparação entre os métodos foi efetiva para o cálculo da depreciação e dos valores de mercado, pois se mostraram mais adequados para finalidades distintas. Assim, a comparação entre estes métodos permite que os resultados da avaliação tenham menor ou maior decrepitude do valor real de mercado, em que a contribuição se dá na obtenção de um resultado mais assertivo na tomada de decisão das máquinas e equipamentos, por parte de quem os detém ou os controla. Neste sentido, o método de Cole apresentou o maior valor para o custo total da frota podendo ser utilizado para a venda dos ativos, proporcionando um maior retorno ao proprietário. O método de Caires apresentou o

menor valor total da frota, o que seria melhor para avaliações, em que se vai pagar alguma tarifa, alíquota, taxa ou afins tomando como base a avaliação.
PALAVRAS-CHAVE: Métodos de Avaliações. Máquinas e equipamentos. Depreciação. Valor residual.

DEPRECIATION OF MACHINERY AND EQUIPMENT USING, LINE, COLE, CONSTANT PERCENTAGE AND CAIRES METHODS

ABSTRACT: This article presents an evaluation of the machines and equipment of a fleet using four methods of depreciation, obtaining in this way the real market value, total depreciation of the fleet, identification of the amount of assets scrapped, as well as predicting the next assets that will reach the residual or scrap value. The proposal was motivated by the specific knowledge in evaluation of machines and equipment that the evaluation engineer must possess and by the need to establish the real market value, in order to assist in the decision making regarding the destination of these assets. This proposal focused on problems related to research and inadequate methods for establishing real values to evaluate the assets. The comparison of these depreciation methods may lead to more reliable values of the assets. The methods used include the useful life, apparent life and asset acquisition value as a parameter. The results indicate that the comparison between the methods was effective for the calculation of depreciation and market values, since they proved to be more suitable for different purposes. Thus, the comparison between these methods allows the results of the evaluation to have a lower or greater decrepitude of the real market value, in which the contribution is made in obtaining a more assertive result in the decision making of the machines and equipment, by those who holds or controls them. In this sense, Cole method presented the highest value for the total cost of the fleet and could be used to sell the assets, providing a higher return to the owner. The Caires method presented the lowest total value of the fleet, which would be better for evaluations, in which some charge, aliquot, fee or the like will be paid based on the valuation.
KEYWORDS: Assessment Methods. Machines and equipment. Depreciation. Residual value.

1 I INTRODUÇÃO

Os engenheiros de avaliação devem manter-se atualizados no que cerne os preços de mercado das máquinas e equipamentos, devido alterações na economia, variação nas demandas de mercado, globalização e principalmente pelo avanço tecnológico, que os impulsionam a tal atualização (BUSTAMANTE, 2000).

Os ativos industriais assumem valores diferenciados, porque quem define esta valoração é a finalidade da avaliação, atrelado atualização anteriormente citada do engenheiro avaliador é exigida grande experiência, como em avaliações de complexos indústrias por exemplo (OLIVEIRA, 2007).

Engenheiros de avaliação vêm se dedicando divulgação, pesquisa e estudo de técnicas de avaliação, posto que a necessidade de conhecimento do valor de um bem deve ser embasada em preceitos legais e fundamento científico (CAIRES, 1972).

A subjetividade dos métodos utilizados, na avaliação de máquinas e equipamentos, e a falta de parâmetros para realizar a depreciação em muitos casos não possibilitam um valor mais próximo do real com o valor de mercado. A comparação dos métodos proposto neste artigo, visa fornecer uma gama de resultados, de sorte a permitir um método compatível com a finalidade da avaliação, convergindo nestes meios, um valor mais assertivo.

Nesta linha de raciocínio, pretendeu-se identificar a importância e quantificar o impacto da comparação dos métodos aplicados para obtenção do valor de mercado dos ativos.

Ao final, foram calculados os valores de mercado e depreciação de cada ativo, bem como identificado quantos foram sucateados e os próximos que atingirão o valor residual, apresentando qual metodologia está mais fidedigna com o valor de mercado em relação a uma avaliação específica.

Até que se atinja sua vida útil, ou valor de sucata, o método da linha reta demonstra uma depreciação continuamente decrescente. Nesta etapa, o termo "valor de sucata", o qual é o valor de mercado reaproveitável de um bem, compete a ABNT 14653 a definição, na condição de desativação. Isto é, o valor que um ferro-velho pagaria por um ativo móvel (UBIRAJARA, 2013).

Para Kuhnem (2001), a fórmula para o cálculo da depreciação linear da pela equação (1) abaixo.

$$DL = \frac{(Vn - Vr)}{n} \tag{1}$$

Onde *DL* é a depreciação linear anual, *Vn* é a o valor do ativo novo, *Vr* o valor residual e *n* a vida útil. Da equação depreende-se que o valor da depreciação a cada ano é subtraído sempre a mesma magnitude, daí resultando numa linha reta decrescente.

Conforme Assis (2011), o método da soma de dígitos ou de Cole considera que o valor de um bem ou serviço decresce a uma taxa decrescente, sendo o valor da depreciação no ano t. A equação (2) é usada para o cálculo da depreciação de Cole:

$$DC = (Vn - Vr) \cdot \frac{(2 \cdot (N - t + 1))}{N \cdot (N + 1)} \tag{2}$$

Onde *DC* é a depreciação Cole anual, *Vn* é a o valor do ativo novo, *Vr* o valor residual, *N* a vida útil e *t* vida aparente ou idade atual da máquina ou equipamento.

Consoante Wammws (2013), diz que o método da porcentagem constante é também conhecido como método de Matheson ou Exponencial, ou ainda método da porcentagem fixa sobre o valor contábil. Este método necessita de incorporar o valor residual no cálculo da depreciação. O valor da depreciação, à medida que tende a obsolescência, vai diminuindo, sendo sempre maior no início da vida útil. Mostra-se eficiente em demonstrar o declínio do valor de mercado do ativo e determinação do valor residual. A equação (3) para obtenção do valor da depreciação é dada por:

$$T = \sqrt[N]{\frac{Vr}{Vn}} \tag{3}$$

Onde *N* representa a vida útil, *Vr* o valor residual e *Vn* o valor do ativo novo.

Segundo Oliveira (2007), O método de depreciação utilizado por Hélio Roberto Caires, considera que a depreciação é uma função dependente de idade (*t*), práticas de manutenção (μ), regime de trabalho (t), vida útil esperada (η) de acordo com a equação (4):

$$D(t, \mu, \tau, \eta) = \frac{A}{1 + B \,.\, e^{(\phi(\mu,\tau).\ C\,.\,\left(\frac{t}{\eta}\right))}} \tag{4}$$

Nesta equação a maioria das incógnitas são dadas: *A* é igual a 1,347961431; *B* representa uma outra expressão cujo o termo é (*A* – 1); *C* é 3,579761431; "*e*" é o número de Euler, denominado em homenagem ao matemático suíço Leonhard Euler, é a base dos logaritmos naturais, e vale 2,7182; e finalmente a função de desgaste a qual está em função de τ e μ, que expressam carga e manutenção na equação (5)

$$\phi(\mu, \tau) = 0{,}853081710 \,.\, e^{0{,}067348748.\tau - 0{,}041679277.\mu - 0{,}001022860\,.\tau\mu} \tag{5}$$

Com função de levar em consideração as condições de trabalho das máquinas e equipamentos, o fator de carga "τ" é utilizado. Podendo representar se o ativo está sob condições de trabalho nulo, leve, normal, pesado ou extremo, assumindo os valores 0, 5 10, 15 e 20 respectivamente.

Um outro fator de notável importância é o fator de práticas de manutenção "μ", que estabelece o nível de manutenção que o ativo possui. Este fator classifica a prática de manutenção em inexistente, deficiente, normal, rigorosa ou perfeita, relacionando com os seguintes valores 0, 5 10, 15 e 20 respectivamente.

2 I MATERIAIS E MÉTODOS

O mercado de ativos usados é muito restrito ou não existe para alguns tipos específicos, de sorte que dificultam a realização da avaliação por meio de inferência estatística, então para os profissionais legalmente habilitados avaliar máquinas e equipamentos, na grande maioria das vezes se valem de métodos de depreciação, a fim de obter o valor de mercado destes.

Seguindo esta concepção, na infinidade de métodos para o cálculo da depreciação de máquinas e equipamentos foram escolhidos alguns métodos, por serem consagrados, difundidos e bastantes utilizados na avaliação de bens móveis, conforme referencial teórico. No entanto, a execução na prática denota que estes métodos de depreciação possuem algumas defasagens e, em casos particulares, não retornam o real valor de mercado de um bem móvel.

Na tentativa de compensar o desfalque, foi implementada a utilização conjunta de quatro metodologias consagradas e frequentemente utilizadas na área de engenharia de avaliações, que são: o método de linha, método linear ou método de quotas constantes; método da soma de dígitos ou método e cole; método da percentagem constante, método do saldo decrescente, método de Matheson ou Exponencial, ainda método da porcentagem fixa sobre o valor contábil; e finalmente o método de Hélio de Caires.

A ideia de utilizar, para o cálculo das depreciações, os quatro métodos, é identificar qual o valor aparenta ser o mais adequado a ser escolhido como valor de mercado do ativo, fazendo um certo ajuste neste valor.

Para realizar a avaliação neste artigo, foram coletadas informações de sessenta e três ativos do setor da construção civil no dia 14 de junho de 2016. Em seguida, foram consultados os manuais de operação, para que se encontrassem alguns parâmetros importantes requeridos pelos métodos escolhidos e características peculiares que viessem a ser úteis no desenrolar dos cálculos. Dentre as informações coletadas acerca dos ativos destacam-se: ano de fabricação, vida útil, vida aparente, valor residual, valores dos bens novos, práticas de manutenção, fator trabalho, marcas, categorias, classes, status na obra de construção. Na impossibilidade de se encontrar algumas informações recorreu-se a internet, como por exemplo, para achar os valores de bens novos.

Com base nestas informações foi possível utilizar as metodologias propostas neste trabalho, permitindo calcular, para as máquinas e equipamentos, o valor de mercado, a depreciação da frota, identificar os ativos que atingiram o valor residual e os próximos que atingiram este estado em 2018. E em seguida realizar comparações entre as metodologias.

No trabalho são apresentadas tabelas contendo a listagem de máquinas e equipamentos selecionadas, os valores dos bens novos, também são apresentadas as tabelas de depreciação das máquinas e equipamentos das quatro metodologias, fluxograma das etapas dos procedimentos, gráficos de status dos ativos, gráficos das categorias dos ativos, gráfico das marcas dos ativos, gráficos do ano de fabricação dos ativos, e por fim são apresentadas gráficos com: os valores de mercado dos ativos, depreciação total da frota, quantidade de ativos sucateados e quantos atingiram o valor residual.

Fluxograma

Com intuito de tornar a análise do processo muito mais simples, foi esquematizado as etapas do trabalho no fluxograma abaixo:

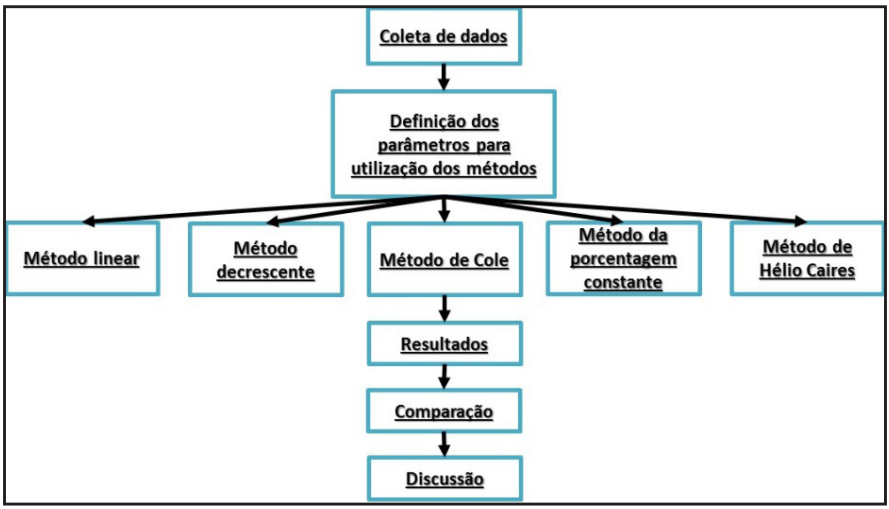


Figura 1- Fluxograma de Coleta de Dados.

Fonte: Própria (2016).

Primeiramente, efetuou-se a coleta de dados, verificando-se os manuais de operação e catálogos e na impossibilidade, ou seja, no extravio ou quando não havia, a coleta se deu por meio de inspeção visual, indo até o ativo e checando a placa de descrições técnicas contidas no chassi ou em parte específicas da lataria. Em seguida, foi montada uma base de dados contento a reunião de todas as informações necessárias para aplicação dos métodos e conhecimento da frota, definindo-se, assim, os parâmetros. Logo após, efetuou-se aplicação dos quatro métodos. Na sequência, os resultados são gerados pela implementação das equações de depreciação utilizando como ferramenta de cálculo o Excel, através das planilhas. Por fim, se comparou os resultados e se realizou as discussões.

Características da frota

Na coleta de dados, relativos aos sessenta e três ativos do setor da construção civil, foi possível inferir informações que permitiram uma visão panorâmica da frota, convergindo para um melhor entendimento das peculiaridades dos ativos. Perspectivas que estabelecerão bases solidas para se ter uma previsão das possíveis magnitudes de valores de depreciação, no âmbito de seu grau, observadas nos gráficos das Figuras de 2 a 5, mostrando as características da frota.

Na Figura 2, percebe-se que quarenta e quatro ativos estão em serviço (69,84%), sendo a maioria dos ativos, isto é, produzindo com qualidade, ao passo que seus desgastes se amplificam devido seus funcionamentos contínuos naturalmente, exemplificados pelo fator de carga, conforme estabelece o método de Hélio de Caires o qual possui vínculo

com fatores de carga, pois é diretamente proporcional a depreciação. Observa-se ainda, que existem quinze ativos (23,81%) que estão aptos para serem vendidos e quatro ativos (6,35%) estão aptos em um pátio aguardando liberação de ordem de serviço.

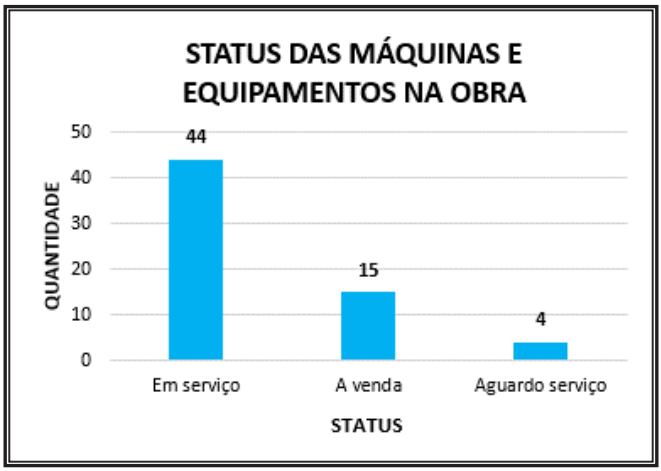


Figura 2 - Status das máquinas e equipamentos na obra.

Fonte: Própria (2016).

Denota-se da Figura 3 uma classificação referente às categorias dos ativos em que os pequenos equipamentos, veículos e industrias representam minoria, observa-se na categoria das máquinas e equipamentos, que a maioria são rodoviários representando 47,63%, seguido de Máquinas com 33,33%, Pequenos Equipamentos com Manutenção em 9,52%, Veículos com 6,35% e industriais com 3,17%. Aproximadamente, 80,96% dos ativos são das categorias Rodoviários ou Máquinas, cujos valores em relação as demais categorias são maiores, mais utilizadas e remetem uma ideia de que a depreciação total anual da frota possa ser alta.

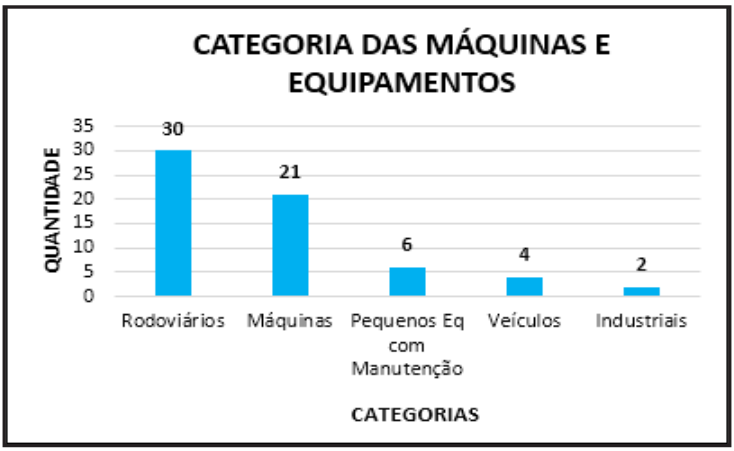


Figura 3 - Categoria das máquinas e equipamentos.

Fonte: Própria (2016).

Já a Figura 4, uma classificação referente às marcas das máquinas e equipamentos, de igual forma da classificação das categorias, procurou-se ordem na frota em relação às suas marcas, em que as marcas Volkswagen (31,75%), JCB (20,63%) e Scania (12,70%) se destacaram. Aproximadamente, 65,08% dos ativos são das marcas já citadas, e por se tratarem de marcas de alto valor, com exceção da marca Volkswagen, impulsiona-se a um raciocínio de que depreciações de ativos são exorbitantes. As demais marcas apresentam percentuais equivalentes as quantidades especificadas no gráfico, ou seja, para cada quatro marcas tem-se 6,35%, as que apresentam duas marcas, 3,17% e as com uma marca apenas, 1,59%.

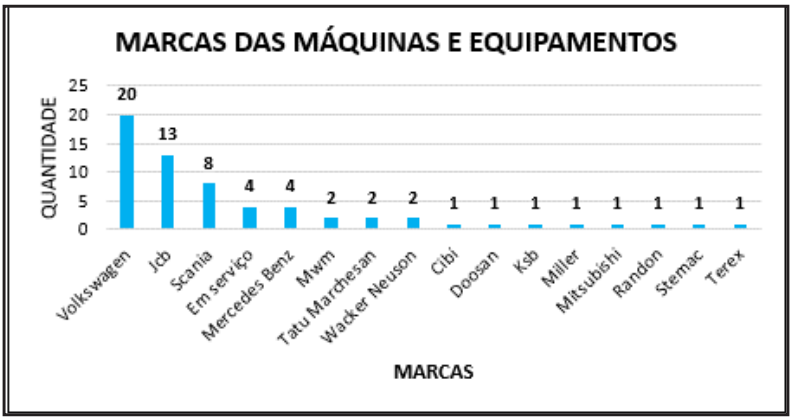


Figura 4 - Marcas das máquinas e equipamentos.

Fonte: Própria (2016).

Concernente a Figura 5, umas das mais importantes informações e também parâmetros para os métodos são os anos de fabricação, desta forma procurou-se elaborar uma classificação pertinente. Conforme se observa, aproximadamente 68,25% dos ativos foram fabricados nos anos de 2010, 2009 e 2013, respectivamente, 19,05%, 17,46% e 15,87%, mostrando, assim, que muitos ativos estão próximos de suas vidas úteis com respectivamente 7, 8 e 4 anos de vida aparente, com curtas esperanças de vida. Assim, observando-se ainda nos anos de 2011 e 2012, a partir de seis equipamentos, os percentuais foram mais baixos, na faixa de 9,52%, depois aqueles com quatro equipamentos (2006, 2007 e 2014), 6,35%, seguidos de dois equipamentos (1981 e 2004), com 3,17% e os de um equipamento (2008), com 1,59%.

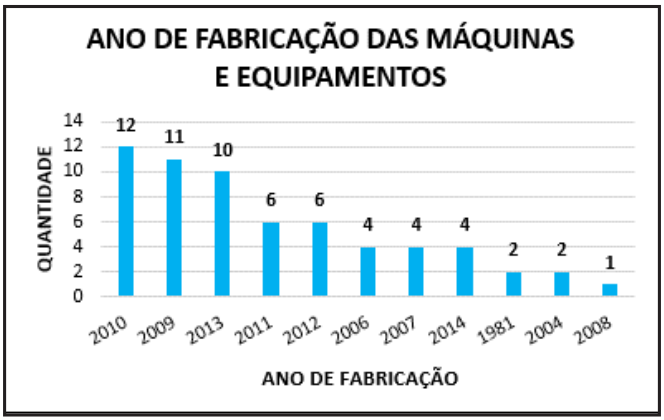


Figura 5 - Ano de fabricação das máquinas e equipamentos.

Fonte: Própria (2016).

Tabulação de dados para aplicação dos métodos

Depois de ter analisado as características da frota fazendo quatro pequenas análises, submeteu-se toda a frota aos métodos de cálculos de depreciação. Para isso foi elaborado uma planilha, conforme a Tabela 1, com os cabeçalhos apelido, tipo, ano de fabricação, sado residual, vida útil, vida aparente e valor de aquisição. A coluna apelidos foi utilizada, devido ao controle de identificação dos ativos ser feita por apelidos, diferente de outras frotas as quais são identificadas por numeração, como por exemplo em empresas de coleta de resíduos sólidos.

A coluna tipo informa o tipo do ativo, se é caminhão e suas variações, retroescavadeira, trator e suas variações, ônibus, veículos, moto bombas, grupo gerador e grupo semirreboque. A coluna ano de fabricação descreve os todos os anos de fabricação dos ativos. A coluna, saldo residual é utilizada para definir o valor do ativo que sofreu

depreciação, ao final de sua vida útil, resultando em seu valor final. A coluna vida útil remete a provável tempo de uso. A coluna vida aparente representa a idade do ativo. E finalmente, a coluna valor de aquisição mostrando o custo de ativo como novo, ou seja, o valor de aquisição do bem.

DADOS TÉCNICOS DAS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS						
Apelido	Tipo	Ano Fab	Saldo Residual	Vida Útil	Vida Aparente	Valor Aquisição
BATATA	Cam Auto Bomba Lanca	2012	R$ 213.820,71	8	5	R$ 1.097.400,00
CURUJA	Cam Basculante	2007	R$ 64.243,51	8	10	R$ 279.221,99
CARA PRETA	Cam Basculante	2007	R$ 64.243,51	8	10	R$ 279.221,99
ACACIA	Cam Basculante	2010	R$ 51.571,37	8	7	R$ 206.075,50
CRONOS	Cam Basculante	2013	R$ 106.277,23	8	4	R$ 500.663,30
JURUPOCA	Cam Basculante	2013	R$ 106.277,23	8	4	R$ 489.000,00
R10	Cam Basculante	2013	R$ 106.277,23	8	4	R$ 489.787,33
TARDELLI	Cam Basculante	2013	R$ 106.277,23	8	4	R$ 489.000,00
MARLONE	Cam Basculante	2014	R$ 106.277,23	8	3	R$ 505.000,00
EGIDIO	Cam Basculante	2014	R$ 106.277,23	8	3	R$ 505.000,00
FABIAO	Cam Basculante	2014	R$ 106.277,23	8	3	R$ 505.000,00
HENRIQUE S11DR	Cam Basculante	2014	R$ 106.277,23	8	3	R$ 505.000,00
BUCHUDO	Cam Bau	2004	R$ 29.271,96	8	13	R$ 99.539,76
VIVALDAO	Cam Betoneira	2010	R$ 61.615,07	8	7	R$ 291.153,00
VIVALDINHO	Cam Betoneira	2010	R$ 61.615,07	8	7	R$ 291.153,00
ARENA	Cam Betoneira	2010	R$ 61.615,07	8	7	R$ 291.153,00
MARINGA	Cam Carroceria	2006	R$ 31.001,96	8	11	R$ 192.450,31
MALARIA IGAM3	Cam Carroceria	2006	R$ 31.001,96	8	11	R$ 192.450,31
ARENAPOLIS	Cam Guindauto	2010	R$ 47.201,36	8	7	R$ 231.559,27
BREU PRETO	Cam Guindauto	2007	R$ 57.724,66	8	10	R$ 280.755,07
ABARE	Cam Guindauto	2013	R$ 78.005,50	8	4	R$ 393.300,00
ITAPECIRICA	Cam Guindauto	2010	R$ 47.201,36	8	7	R$ 231.559,27
CORURIPE	Cam Guindauto	2010	R$ 47.201,36	8	7	R$ 231.559,27
AZEITE	Cam Lubrificacao	2011	R$ 56.599,95	8	6	R$ 280.609,23
AGUAPE	Cam Tanque Pipa	2012	R$ 41.000,93	8	5	R$ 202.427,00
GUARA VERMELHO	Cam Tanque Pipa	2010	R$ 58.148,67	8	7	R$ 301.523,11
ENCHENTE	Cam Tanque Pipa	2013	R$ 58.148,67	8	4	R$ 276.000,00
MANAUARA	Cavalo Mecanico	2010	R$ 40.460,85	8	7	R$ 197.558,52
MANAOS	Central Concreto Fixa	2011	R$ 32.631,84	8	6	R$ 434.821,00
SUZANA	Escavadeira	2012	R$ 88.871,79	8	5	R$ 426.881,88
BELEM III	Escavadeira	2013	R$ 92.897,34	8	4	R$ 489.000,00
SANTOS	Grua	2011	R$ 455.587,76	10	6	R$ 3.222.510,08
ILUMINADO	Grupo Gerador	2011	R$ 10.321,93	8	6	R$ 76.393,57
INDAIA	Motoniveladora	2013	R$ 146.571,35	8	4	R$ 706.100,00
MAURILIO	Onibus	2011	R$ 33.160,07	8	6	R$ 244.798,14
RAICA	Peq-Grade Discos	2006	R$ 1.740,00	8	11	R$ 11.600,00
VIRA VIRA	Peq-Grade Discos	2007	R$ 1.740,00	8	10	R$ 11.600,00
CARMOPOLIS II	Peq-Maquina Soldar Diesel	2004	R$ 1.100,30	8	13	R$ 7.335,35
NORMA	Peq-Motobomba	1981	R$ 353,34	8	36	R$ 2.355,60
AURENY	Peq-Motobomba	1981	R$ 353,34	8	36	R$ 2.355,60
IGARAPE	Peq-Motobomba	1981	R$ 353,34	8	36	R$ 2.355,60
BOCA DO ACRE	Retro Escavadeira	2009	R$ 41.184,49	8	8	R$ 169.950,00
BARREIRINHA	Retro Escavadeira	2009	R$ 41.184,49	8	8	R$ 169.950,00
PAUINI	Retro Escavadeira	2009	R$ 47.480,86	8	8	R$ 210.291,60
NOVA OLINDA	Retro Escavadeira	2009	R$ 41.184,49	8	8	R$ 169.950,00
BERURI	Retro Escavadeira	2009	R$ 41.184,49	8	8	R$ 169.950,00
ARINI	Retro Escavadeira	2009	R$ 41.184,49	8	8	R$ 169.950,00
CANACARI	Retro Escavadeira	2009	R$ 41.184,49	8	8	R$ 169.950,00
BEL	Retro Escavadeira	2009	R$ 41.184,49	8	8	R$ 169.950,00
BORBA	Retro Escavadeira	2009	R$ 41.184,49	8	8	R$ 169.950,00
BALEIA	Retro Escavadeira	2009	R$ 41.184,49	8	8	R$ 169.950,00
ZOVIS	Rolo Compactador	2009	R$ 51.093,54	8	8	R$ 302.000,00
INHOMIRIM	Rolo Compactador	2010	R$ 43.081,14	8	7	R$ 279.064,80
COTUNDUBA	Rolo Compactador	2010	R$ 43.081,14	8	7	R$ 279.064,80
SOCADOR	Rolo Compactador	2013	R$ 18.587,04	8	4	R$ 121.895,86
PILAO S11DR	Rolo Compactador	2013	R$ 18.587,04	8	4	R$ 121.895,86
ATUMAM	Semi Reboque	2011	R$ 28.290,00	8	6	R$ 125.231,86
PACU	Trator Esteiras	2006	R$ 105.283,65	8	11	R$ 605.000,00
DONI	Trator Esteiras	2008	R$ 130.687,50	8	9	R$ 828.673,00
MATRINXA	Veiculo	2010	R$ 13.005,00	3	7	R$ 90.818,80
GUASCA	Veiculo	2012	R$ 8.198,76	3	5	R$ 49.695,15
CARITE	Veiculo	2012	R$ 6.477,00	3	5	R$ 44.434,89
REDOMAO	Veiculo	2012	R$ 6.477,00	3	5	R$ 44.330,18

Tabela 1- Parâmetros a serem utilizados nos métodos.

Fonte: Própria (2016).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após utilização das metodologias obtêm-se os resultados das depreciações das máquinas e equipamentos, conforme Tabela 2. Neste momento é possível comparar as depreciações de cada ativo obtido através dos quatro métodos utilizados. A Tabela 2 conta com 4 colunas sendo a primeira exibindo os resultados das depreciações pelo método linear; a segunda pelo método de Cole ou soma de dígitos; a terceira pelo método da percentagem constante; e a última pelo método de Hélio de Caires. É notório que os valores, por cada método, são diferentes, uma vez que os gráficos representativos dos métodos são diferentes. Pelo fato do método linear depreciar o mesmo valor, seu gráfico resulta de uma linha continua e decrescente, quanto aos demais são gerados gráficos exponenciais, culminando num decaimento superior ao método de linha e diferentes entre si. Assim, destas diferenças gráficas implicam valores discrepantes.

MÉTODOS DE DEPRECIAÇÃO			
Método Linear	Método de Cole	Método P. Constante	Método Hélio de Caires
R$ 552.237,06	R$ 736.316,08	R$ 394.837,11	R$ 11.112,70
R$ 64.243,51	R$ 64.243,51	R$ 64.243,51	R$ 64.243,51
R$ 64.243,51	R$ 64.243,51	R$ 64.243,51	R$ 64.243,51
R$ 135.191,11	R$ 150.212,35	R$ 61.321,23	R$ 0,00
R$ 197.193,04	R$ 284.834,38	R$ 230.671,00	R$ 50.820,74
R$ 191.361,39	R$ 276.410,89	R$ 227.968,34	R$ 49.636,84
R$ 191.755,05	R$ 276.979,52	R$ 228.151,79	R$ 49.716,76
R$ 191.361,39	R$ 276.410,89	R$ 227.968,34	R$ 49.636,84
R$ 149.521,04	R$ 232.588,28	R$ 281.495,98	R$ 172.245,67
R$ 149.521,04	R$ 232.588,28	R$ 281.495,98	R$ 172.245,67
R$ 149.521,04	R$ 232.588,28	R$ 281.495,98	R$ 172.245,67
R$ 149.521,04	R$ 232.588,28	R$ 281.495,98	R$ 172.245,67
R$ 29.271,96	R$ 29.271,96	R$ 29.271,96	R$ 29.271,96
R$ 200.845,69	R$ 223.161,88	R$ 74.815,44	R$ 0,00
R$ 200.845,69	R$ 223.161,88	R$ 74.815,44	R$ 0,00
R$ 200.845,69	R$ 223.161,88	R$ 74.815,44	R$ 0,00
R$ 31.001,96	R$ 31.001,96	R$ 31.001,96	R$ 31.001,96
R$ 31.001,96	R$ 31.001,96	R$ 31.001,96	R$ 31.001,96
R$ 161.313,17	R$ 179.236,86	R$ 57.582,83	R$ 0,00
R$ 57.724,66	R$ 57.724,66	R$ 57.724,66	R$ 57.724,66
R$ 157.647,25	R$ 227.712,69	R$ 175.155,83	R$ 39.922,63
R$ 161.313,17	R$ 179.236,86	R$ 57.582,83	R$ 0,00
R$ 161.313,17	R$ 179.236,86	R$ 57.582,83	R$ 0,00
R$ 168.006,96	R$ 205.341,84	R$ 84.457,36	R$ 24,73
R$ 100.891,29	R$ 134.521,73	R$ 74.618,54	R$ 2.049,85
R$ 212.952,64	R$ 236.614,04	R$ 71.431,11	R$ 0,00
R$ 108.925,67	R$ 157.337,07	R$ 126.684,78	R$ 28.015,88
R$ 137.460,46	R$ 152.733,85	R$ 49.330,74	R$ 0,00
R$ 301.641,87	R$ 368.673,40	R$ 62.346,03	R$ 38,32
R$ 211.256,31	R$ 281.675,08	R$ 160.082,13	R$ 4.322,77
R$ 198.051,33	R$ 286.074,14	R$ 213.135,64	R$ 49.636,84
R$ 1.660.153,39	R$ 2.263.845,53	R$ 996.370,69	R$ 58.742,49
R$ 49.553,73	R$ 60.565,67	R$ 17.024,91	R$ 6,73
R$ 279.764,33	R$ 404.104,03	R$ 321.704,88	R$ 71.673,97
R$ 158.728,55	R$ 194.001,56	R$ 54.659,24	R$ 21,58
R$ 1.740,00	R$ 1.740,00	R$ 1.740,00	R$ 1.740,00
R$ 1.740,00	R$ 1.740,00	R$ 1.740,00	R$ 1.740,00
R$ 1.100,30	R$ 1.100,30	R$ 1.100,30	R$ 1.100,30
R$ 353,34	R$ 353,34	R$ 353,34	R$ 353,34
R$ 353,34	R$ 353,34	R$ 353,34	R$ 353,34
R$ 353,34	R$ 353,34	R$ 353,34	R$ 353,34
R$ 128.765,51	R$ 128.765,51	R$ 41.184,49	R$ 41.184,49
R$ 128.765,51	R$ 128.765,51	R$ 41.184,49	R$ 41.184,49
R$ 162.810,74	R$ 162.810,74	R$ 47.480,86	R$ 47.480,86
R$ 128.765,51	R$ 128.765,51	R$ 41.184,49	R$ 41.184,49
R$ 128.765,51	R$ 128.765,51	R$ 41.184,49	R$ 41.184,49
R$ 128.765,51	R$ 128.765,51	R$ 41.184,49	R$ 41.184,49
R$ 128.765,51	R$ 128.765,51	R$ 41.184,49	R$ 41.184,49
R$ 128.765,51	R$ 128.765,51	R$ 41.184,49	R$ 41.184,49
R$ 128.765,51	R$ 128.765,51	R$ 41.184,49	R$ 41.184,49
R$ 128.765,51	R$ 128.765,51	R$ 41.184,49	R$ 41.184,49
R$ 250.906,46	R$ 250.906,46	R$ 51.093,54	R$ 51.093,54
R$ 206.485,70	R$ 229.428,56	R$ 54.414,47	R$ 0,00
R$ 206.485,70	R$ 229.428,56	R$ 54.414,47	R$ 0,00
R$ 51.654,41	R$ 74.611,93	R$ 47.599,19	R$ 12.373,26
R$ 51.654,41	R$ 74.611,93	R$ 47.599,19	R$ 12.373,26
R$ 72.706,40	R$ 88.863,37	R$ 41.034,90	R$ 11,04
R$ 105.283,65	R$ 105.283,65	R$ 105.283,65	R$ 105.283,65
R$ 130.687,50	R$ 130.687,50	R$ 130.687,50	R$ 130.687,50
R$ 13.005,00	R$ 13.005,00	R$ 13.005,00	R$ 13.005,00
R$ 8.198,76	R$ 8.198,76	R$ 8.198,76	R$ 8.198,76
R$ 6.477,00	R$ 6.477,00	R$ 6.477,00	R$ 6.477,00
R$ 6.477,00	R$ 6.477,00	R$ 6.477,00	R$ 6.477,00

Tabela 2 - Resultados das depreciações por cada método.

Fonte: Própria (2016).

Seguindo a mesma ideia de apresentação dos resultados da Tabela 2, tem-se a Tabela 3 com a apresentação dos valores de mercado obtidos pelas metodologias propostas. Os valores de mercado de cada máquina e equipamento são resultantes da diferença entre os seus valores de aquisição e suas depreciações. Alguns valores resultaram em zero

pelo método e Hélio de Caires, isto se deve a característica matemática da equação, pois quando a depreciação tende a zero, à medida que vai se aproximando da vida útil, faz com que o denominador da equação (4) fique muito alto (em torno da ordem de dez a décima quinta potência), em virtude da equação (3) (equação de desgaste) também ficar elevada, por conta do expoente do número de Euler deixa-lo com valor alto.

VALORES DE MERC ADO			
Método Linear	Método de Cole	Método P. Constante	Método Hélio de Caires
R$ 545.162,94	R$ 361.083,93	R$ 702.562,89	R$ 1.086.287,30
R$ 214.978,48	R$ 214.978,48	R$ 214.978,48	R$ 214.978,48
R$ 214.978,48	R$ 214.978,48	R$ 214.978,48	R$ 214.978,48
R$ 70.884,39	R$ 55.863,15	R$ 144.754,27	R$ 206.075,50
R$ 303.470,27	R$ 215.828,92	R$ 269.992,30	R$ 449.842,56
R$ 297.638,62	R$ 212.589,11	R$ 261.031,66	R$ 439.363,16
R$ 298.032,28	R$ 212.807,81	R$ 261.635,54	R$ 440.070,57
R$ 297.638,62	R$ 212.589,11	R$ 261.031,66	R$ 439.363,16
R$ 355.478,96	R$ 272.411,72	R$ 223.504,02	R$ 332.754,33
R$ 355.478,96	R$ 272.411,72	R$ 223.504,02	R$ 332.754,33
R$ 355.478,96	R$ 272.411,72	R$ 223.504,02	R$ 332.754,33
R$ 355.478,96	R$ 272.411,72	R$ 223.504,02	R$ 332.754,33
R$ 70.267,80	R$ 70.267,80	R$ 70.267,80	R$ 70.267,80
R$ 90.307,31	R$ 67.991,12	R$ 216.337,56	R$ 291.153,00
R$ 90.307,31	R$ 67.991,12	R$ 216.337,56	R$ 291.153,00
R$ 90.307,31	R$ 67.991,12	R$ 216.337,56	R$ 291.153,00
R$ 161.448,35	R$ 161.448,35	R$ 161.448,35	R$ 161.448,35
R$ 161.448,35	R$ 161.448,35	R$ 161.448,35	R$ 161.448,35
R$ 70.246,10	R$ 52.322,41	R$ 173.976,44	R$ 231.559,27
R$ 223.030,41	R$ 223.030,41	R$ 223.030,41	R$ 223.030,41
R$ 235.652,75	R$ 165.587,31	R$ 218.144,17	R$ 353.377,37
R$ 70.246,10	R$ 52.322,41	R$ 173.976,44	R$ 231.559,27
R$ 70.246,10	R$ 52.322,41	R$ 173.976,44	R$ 231.559,27
R$ 112.602,27	R$ 75.267,39	R$ 196.151,87	R$ 280.584,50
R$ 101.535,71	R$ 67.905,28	R$ 127.808,46	R$ 200.377,15
R$ 88.570,48	R$ 64.909,07	R$ 230.092,00	R$ 301.523,11
R$ 167.074,34	R$ 118.662,93	R$ 149.315,22	R$ 247.984,12
R$ 60.098,06	R$ 44.824,67	R$ 148.227,78	R$ 197.558,52
R$ 133.179,13	R$ 66.147,60	R$ 372.474,97	R$ 434.782,68
R$ 215.625,57	R$ 145.206,81	R$ 266.799,75	R$ 422.559,11
R$ 290.948,67	R$ 202.925,86	R$ 275.864,36	R$ 439.363,16
R$ 1.562.356,69	R$ 958.664,55	R$ 2.226.139,39	R$ 3.163.767,59
R$ 26.839,84	R$ 15.827,90	R$ 59.368,66	R$ 76.386,84
R$ 426.335,68	R$ 301.995,98	R$ 384.395,12	R$ 634.426,03
R$ 86.069,59	R$ 50.796,58	R$ 190.138,90	R$ 244.776,56
R$ 9.860,00	R$ 9.860,00	R$ 9.860,00	R$ 9.860,00
R$ 9.860,00	R$ 9.860,00	R$ 9.860,00	R$ 9.860,00
R$ 6.235,05	R$ 6.235,05	R$ 6.235,05	R$ 6.235,05
R$ 2.002,26	R$ 2.002,26	R$ 2.002,26	R$ 2.002,26
R$ 2.002,26	R$ 2.002,26	R$ 2.002,26	R$ 2.002,26
R$ 2.002,26	R$ 2.002,26	R$ 2.002,26	R$ 2.002,26
R$ 41.184,49	R$ 41.184,49	R$ 128.765,51	R$ 128.765,51
R$ 41.184,49	R$ 41.184,49	R$ 128.765,51	R$ 128.765,51
R$ 47.480,86	R$ 47.480,86	R$ 162.810,74	R$ 162.810,74
R$ 41.184,49	R$ 41.184,49	R$ 128.765,51	R$ 128.765,51
R$ 41.184,49	R$ 41.184,49	R$ 128.765,51	R$ 128.765,51
R$ 41.184,49	R$ 41.184,49	R$ 128.765,51	R$ 128.765,51
R$ 41.184,49	R$ 41.184,49	R$ 128.765,51	R$ 128.765,51
R$ 41.184,49	R$ 41.184,49	R$ 128.765,51	R$ 128.765,51
R$ 41.184,49	R$ 41.184,49	R$ 128.765,51	R$ 128.765,51
R$ 41.184,49	R$ 41.184,49	R$ 128.765,51	R$ 128.765,51
R$ 51.093,54	R$ 51.093,54	R$ 250.906,46	R$ 250.906,46
R$ 72.579,10	R$ 49.636,24	R$ 224.650,33	R$ 279.064,80
R$ 72.579,10	R$ 49.636,24	R$ 224.650,33	R$ 279.064,80
R$ 70.241,45	R$ 47.283,93	R$ 74.296,67	R$ 109.522,60
R$ 70.241,45	R$ 47.283,93	R$ 74.296,67	R$ 109.522,60
R$ 52.525,47	R$ 36.368,49	R$ 84.196,96	R$ 125.220,82
R$ 499.716,35	R$ 499.716,35	R$ 499.716,35	R$ 499.716,35
R$ 697.985,50	R$ 697.985,50	R$ 697.985,50	R$ 697.985,50
R$ 77.813,80	R$ 77.813,80	R$ 77.813,80	R$ 77.813,80
R$ 41.496,39	R$ 41.496,39	R$ 41.496,39	R$ 41.496,39
R$ 37.957,89	R$ 37.957,89	R$ 37.957,89	R$ 37.957,89
R$ 37.853,18	R$ 37.853,18	R$ 37.853,18	R$ 37.853,18

Tabela 3 - Resultados dos valores de mercado para cada método.

Fonte: Própria (2016).

Com o auxílio da Figura 6, fica claro que em quase todas as máquinas e equipamentos existe diferença ou distorção entre as metodologias de depreciação propostas, ou seja, a utilização da metodologia vai depender da finalidade da avalição o método a se escolher.

Conforme se observa, o primeiro lugar com R$11.929.081,66 de depreciação da frota, é produto das variações de grandes depreciações resultando numa depreciação total maior em relação as demais. Em segundo lugar, tem-se a depreciação do método linha com R$9.597.903,41, pois não há variações de depreciações anuais, são quotas constantes, resultando numa depreciação menor do que a do método de cole. Em terceiro lugar, tem se a depreciação pelo método da percentagem constante com R$6.563.011,91, muito embora o valor de aquisição seja multiplicado por uma taxa constante, aquele sempre se atualiza no ano subsequente, resultando em variações depreciação diferentes no decorrer do tempo, porém, ainda assim, menor que as variações referentes ao método de cole. Em quarto e último lugar, tem-se a depreciação pelo método de Hélio de Caires com R$2.195.971,18, representando o menor valor entre os métodos, deve-se ao fato da elaboração da equação de Caires ser baseada numa amostra de 850 ativos móveis os quais podem diferir das características da frota escolhida para esta pesquisa, portanto retornado valores distorcidos, de forma a serem menores.

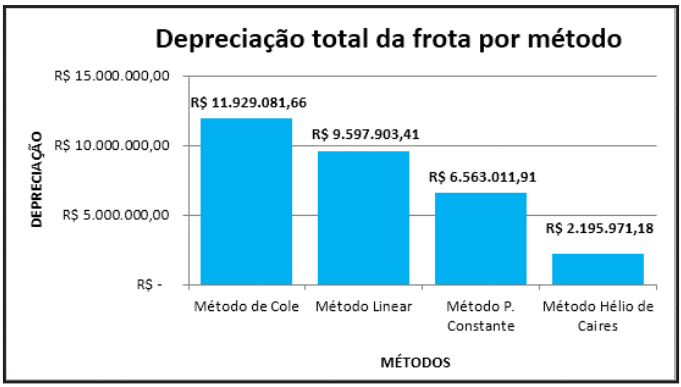


Figura 6 - Depreciação total da frota por métodos.

Fonte: Própria (2016).

Através da Figura 7 também é possível visualizar que dentre as máquinas e equipamento da amostra que existem alguns ativos cuja vida aparente (idade atual) já ultrapassara a vida útil, fazendo com que o ativo atinja o valor residual (valor de sucata), não podendo desta maneira, reduzir o seu valor abaixo desta referência. Ainda na Figura 6, ilustra as quantidades de ativos sucateados e os que ainda não atingiram o tal valor, do total da amostra de 63 bem móveis, 18 já se encontram neste estado.

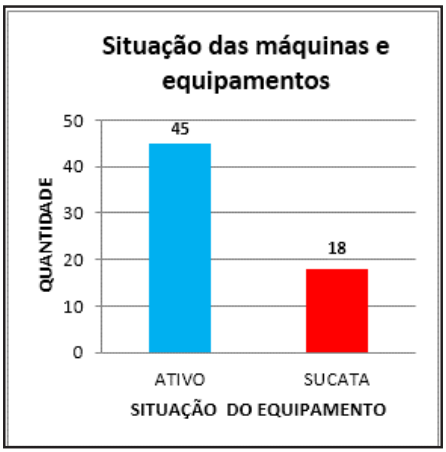


Figura 7 - Situação das máquinas e equipamentos.

Fonte: Própria (2016).

Para finalizar o estudo é apresentada a Figura 8, de modo a identificar as próximas máquinas e equipamentos que atingirão o valor de residual no ano de 2018. Do total da amostra, onze ativos estarão neste estado de valor, sendo que dos 11, 10 são retroescavadeiras e um é rolo compactador.

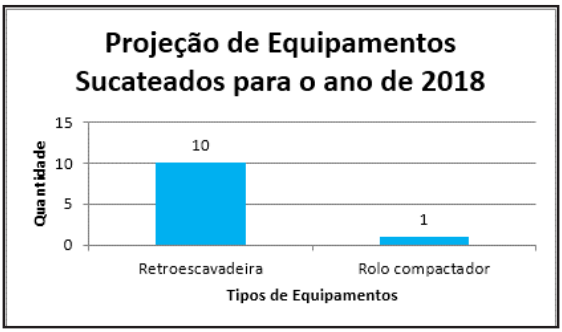


Figura 8 - Projeção de Equipamentos sucateados para o ano de 2018.

Fonte: Própria (2016).

4 I CONCLUSÃO

O que mais chamou atenção no desenvolvimento deste artigo, foram os cuidados em relação a depreciação a serem tomados, concernente aos métodos de depreciação a serem aplicados em cada um dos bens móveis. Cada citação do referencial teórico foi essencial para que se pudesse aprofundar no assunto e encontrar ainda mais informações.

Trabalhar com avaliação exige do engenheiro avaliador grande experiência acumulada, pois até o presente momento não se tem um método de uso geral, sendo composto de muito empirismo, como também pesquisas e bom senso.

Em se tratando de máquinas e equipamentos, a avaliação se mostra complexa inerente ao grande leque de tipos ativos, entretanto pode ser sanado com os métodos aplicados. Por isso o engenheiro avaliador deve proceder com a coleta de dados de maneira minuciosa, verificando os valores reais de mercado, retornado as características dos bens móveis como práticas de manutenção, manuais, entre outros os quais servirão de parâmetros para o método apropriado.

Durante a metodologia, diferentes métodos foram utilizados e conduziram a diferentes valores de depreciação remetendo-se a diferentes valores de mercado, oferecendo, desta forma, um auxílio para engenheiros mecânicos que lidam com estas avaliações de bens móveis.

Através dos resultados obtidos ficou claro que os valores de depreciações pelos métodos de cole, percentagem constante e linear foram superiores ao de Caires. Desta forma, pode-se concluir que calcular depreciação por uma gama de métodos constitui uma ótima alternativa para uma aproximação ao valor de mercado do bem a ser avaliado.

Outra grande contribuição da metodologia proposta, além de calcular os valores de mercado e a depreciação total da frota, foi de identificar a quantidade de equipamentos que atingiram o valor residual e os próximos irão atingir no ano subsequente (2018). De modo a melhorar ainda mais a qualidade de resultados oriundos da avaliação os quais permitirão, caso necessário, tomada de decisão em relação a futuro do ativo, se vende, aluga, descarta ou continua-se com bem em frente serviço.

REFERÊNCIAS

ASSIS, Rui. **Métodos de amortização**, Rio de Janeiro: Pini, 2006.

BUSTAMANTE, Rogério. **Avaliação de complexos industriais**: Fundamentos e prática (Bens Corpóreos). Rio de Janeiro: Forense, 2000.

CAIRES, Hélio Roberto Ribeiro. **Depreciação de imóveis**. In Curso de Introdução a Engenharia de Avaliações. Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia - IBAPE. São Paulo, 1972.

KUHNEN, OSMAR LEONARDO. **Matemática Financeira aplicada e Análise de Investimentos**. 3. Ed. São Paulo: Atlas, 2001.

OLIVEIRA, Ana. **Engenharia de Avaliações**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2007. 987 p.

UBIRAJARA, Athos. Auditoria, Avaliações e Perícias de Engenharia. **ESPECIALIZE ON-LINE IPOG**, Goiânia, v. 1, n.5, 2013.

WAMMES, José. **Coleção Matemática Financeira: Depreciação**. Paraná: Fasul, 2013.

CAPÍTULO 6

ANÁLISE DOS IMPACTOS GERADOS PELA FALTA DE COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS NO CUSTO DA EXECUÇÃO DE UMA CRECHE TIPO 1 PADRÃO FNDE EM CARUARU-PE

Data de aceite: 04/01/2021
Data de submissão: 04/11/2020

Matheus Henrique Pacheco Bezerra
Centro Universitário UnifaviplWyden
Caruaru-PE
http://lattes.cnpq.br/0724157793872727

Maria Victória Leal de Almeida Nascimento
Universidade Federal de Pernambuco
Centro Universitário UnifaviplWyden
Caruaru-PE
http://lattes.cnpq.br/2104309750203808

RESUMO: Este artigo tem como objetivo analisar os impactos gerados pela falta de compatibilização de projetos no custo de uma creche tipo 1 padrão FNDE em etapa de execução localizada em Caruaru-PE. Para tanto, foi realizada a identificação e quantificação das incompatibilidades entre os projetos (básico e complementares) observadas durante a fase de execução de uma creche tipo 1 padrão FNDE. Com o intuito de levantar o impacto causado no custo da obra. Inicialmente, foram identificadas 72 incompatibilidades in loco durante a execução, sendo 74% entre os projetos estrutural e hidrossanitário, 22% entre os projetos arquitetônico e hidrossanitário e 4% entre os projetos arquitetônico e elétrico. Com base nas interferências levantadas, foi elaborada uma planilha de custo para os serviços que precisaram ser acrescidos, para as soluções adotadas durante a execução. Ao final, foi analisado o custo acrescido devido as incompatibilidades entre os projetos, totalizando um custo de R$ 7.591,08, (sete mil, quinhentos e noventa e um reais e oito centavos). Na discussão dos resultados indicou-se a utilização da ferramenta BIM para evitar problemas de incompatibilidades entre os projetos, visto que o mesmo é um projeto padrão replicado nacionalmente, ou seja, o custo acrescido é bem mais expressivo.

PALAVRAS-CHAVE: BIM. Incompatibilidade. Custo. Obra pública.

ANALYSIS OF THE IMPACTS GENERATED BY THE LACK OF COMPATIBILIZATION OF PROJECTS AT THE COST OF THE EXECUTION OF A TYPE 1 STANDARD FNDE NURSERY IN CARUARU-PE

ABSTRACT: This article aims to analyze the impacts generated by the lack of project compatibility on the cost of a FNDE standard type 1 daycare center in the execution stage located in Caruaru-PE. To this end, an identification and quantification of incompatibilities between the projects (basic and complementary) observed during a phase of execution of a type 1 daycare standard FNDE was carried out. In order to raise the impact impact on the cost of the work. Initially, 72 incompatibilities were identified on the spot during execution, 74% between structural and hydrosanitary projects, 22% between architectural and hydrosanitary projects and 4% between architectural and electrical projects. Based on the interferences raised, a cost spreadsheet was prepared for the services that needed to be added, for the solutions adopted during an

execution. In the end, the increased cost due to incompatibilities between the projects was analyzed, totaling a cost of R $ 7,591.08, (seven thousand, five hundred and ninety-one reais and eight cents). In the discussion of the results, the use of the BIM tool was indicated to avoid problems of incompatibilities between the projects, since it is a standard project replicated nationally, that is, the added cost is much more expressive.
KEYWORDS: BIM. Incompatibility. Cost. Public work.

1 I INTRODUÇÃO

No Brasil, a construção civil enfrenta dificuldades derivadas do processo empírico de construções. A utilização de metodologias antigas tanto no gerenciamento quanto na execução pode resultar em atrasos e prejuízos para os empreendimentos.

O gerenciamento dos custos é um conjunto de processos envolvidos em planejamento, estimativas, orçamentos, financiamentos, gerenciamento e controle dos custos, de modo que o projeto possa ser terminado dentro do orçamento aprovado. Pode ser utilizado algumas técnicas para prevenção de erros orçamentários como: análise de valor agregado, índice de estimativa de custos da obra, índice de estimativa de desempenho, previsão de custos futuros (em caso de atrasos) e tomadas de decisão (PMI, 2017).

Segundo o TCU (2014), obra pública é toda construção do bem público, que pode ser executada pelo próprio órgão (forma direta) ou licitada para um terceiro construir (forma indireta).

De acordo com Paiva (2016), compatibilizar é incorporar tudo que envolvem um projeto. Após a conclusão de todas as partes envolvidas inicia-se o processo, sanando conflitos e interferências através de sobreposição manual ou por meio de tecnologias capazes de acelerar a verificação.

A incompatibilidade entre projetos é um dos fatores que mais gera desperdícios em uma obra. Quando solucionadas na fase de elaboração evita-se problemas no canteiro de obras, reduzindo de 5% a 8% os custos da construção. Com a implantação da ferramenta Building Information Modeling (BIM) é possível prever erros com mais facilidade (INBEC, 2018).

Segundo o Ministério da Educação - MEC, na resolução nº 6, de 24 de abril de 2007, o Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil (Proinfância), é uma das medidas tomadas pelo Governo, visando garantir o acesso de crianças a creches e escolas, bem como a melhoria da infraestrutura física da rede de Educação Infantil (FNDE, 2017).

O objetivo geral foi analisar os impactos gerados pela falta de compatibilização de projetos no custo de uma creche tipo 1 padrão FNDE em etapa de execução localizada em Caruaru-PE.

Foram identificados e quantificados os erros de compatibilização através de dados coletados in loco, durante a etapa de execução. Onde foi a primeira creche desse tipo

empregada no município, que atualmente contempla outras quatro unidades, três concluídas e duas em fase de construção.

Todas foram projetadas antes do decreto, que estabelece o uso da metodologia BIM em obras públicas, ou seja, foram projetadas sem a metodologia BIM, resultando em inconformidades entre os projetos e impactando no custo do empreendimento.

2 | METODOLOGIA

Adotou-se uma metodologia de caráter exploratório baseado em um estudo de caso com dados de natureza quantitativa e qualitativa. Para esta metodologia foi realizada uma revisão bibliográfica para investigar, compreender, analisar e discutir os benefícios do sistema BIM se implementado em obras públicas no Brasil. Com o intuito de identificar e quantificar os problemas ocasionados pela falta de compatibilização dos projetos arquitetônico, estrutural, elétrico e hidrossanitário durante o processo de execução e analisar os impactos no custo de uma creche tipo 1 padrão FNDE situada no bairro de Nova Caruaru em Caruaru-PE.

A pesquisa exploratória é quando a pesquisa se encontra na fase preliminar, ou seja, investiga e adiciona informações sobre a explicação do assunto afim de apresentar as evidências, além de descobrir novos fenômenos e formular novas ideias, através de pesquisa bibliográfica e estudo de caso. O estudo de caso é um tipo de pesquisa que busca identificar, analisar e explicar como e por que ocorre um fenômeno em particular, sendo assim o pesquisador aprofunda o estudo (PRODANOV; FREITAS, 2013).

A pesquisa quantitativa trata-se de uma abordagem que emprega padrões sistemáticos com respostas pré-estabelecidas para facilitar a análise e comparação dos dados e obter resultados quantificáveis (BASTOS; KELLER, 2015). Por meio de dados quantificáveis foram reunidos os problemas gerados pela falta de compatibilização entre os projetos arquitetônico, estrutural, elétrico e hidrossanitário durante o processo de execução de uma creche tipo 1 padrão FNDE, que interferiram diretamente no custo.

O embasamento teórico possibilitou amadurecer o conhecimento sobre o tema da pesquisa e forneceu o suporte necessário para o desenvolvimento de uma avaliação, da relação entre os problemas gerados pela incompatibilização dos projetos durante o processo de execução e os impactos no custo, através de registros fotográficos e planilha de itens acrescidos.

A coleta de dados referentes ao objeto de estudo foi realizada com base em uma avaliação in loco em uma creche tipo 1 padrão FNDE situada no Bairro de Nova Caruaru em Caruaru-PE. O município de Caruaru-PE está a aproximadamente 119 km de distância da capital do estado de Pernambuco (Recife).

Durante o processo de execução, foi realizado o levantamento a fim de identificar, registrar e quantificar as inconformidades derivadas das incompatibilizações entre o projeto

básico e os projetos complementares elaborados através de uma ferramenta 2D. Para analisar os impactos causados no custo, foram levantados os itens que precisaram ser acrescidos por causa das incompatibilidades e tomados como parâmetro de valores das composições apresentadas na planilha da própria creche.

O município Caruaru-PE contempla 5 creches tipo 1 padrão FNDE em execução, nas quais estão apresentadas a localização na Figura 1, a creche abordada foi a creche sinalizada de vermelho. O terreno possui 40x60m, totalizando 2.400,00 m² e a área construída é de 1.311,97 m². Os projetos elaborados pelo FNDE para execução desta creche foram de 2015 e sua execução só foi iniciada no ano de 2017, sendo a primeira creche tipo 1 padrão FNDE do município.

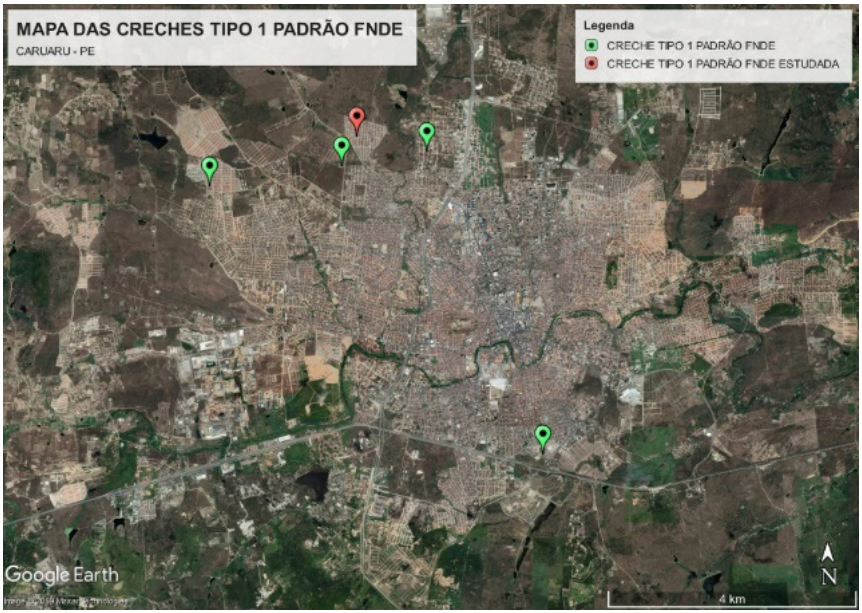


Figura 1 – Mapa das creches tipo 1 padrão FNDE em Caruaru-PE

Fonte: Google Earth (2020).

A Figura 2 apresenta um fluxograma da metodologia científica adotada para o trabalho, exemplificando as duas áreas de abordagem do trabalho, qualitativa e quantitativa.

Para apresentar os resultados foram analisados e discutidos dados coletados em conjunto com o referencial teórico. Em seguida, planilhas sintéticas foram produzidas no Excel, composta pelos serviços acrescidos para solucionar as incompatibilidades e pelos valores unitários dos serviços com base na própria planilha da creche, onde seus valores são baseados em: SINAPI/PE 06/2017 desonerada, ORSE 06/2017, EMLURB

12/2014 e SEINFRA. O BDI adotado foi de 27,7%. E foram produzidos quadros com os erros identificados durante a execução nos projetos arquitetônico, estrutural, elétrico e hidrossanitário de uma creche tipo 1 padrão FNDE.

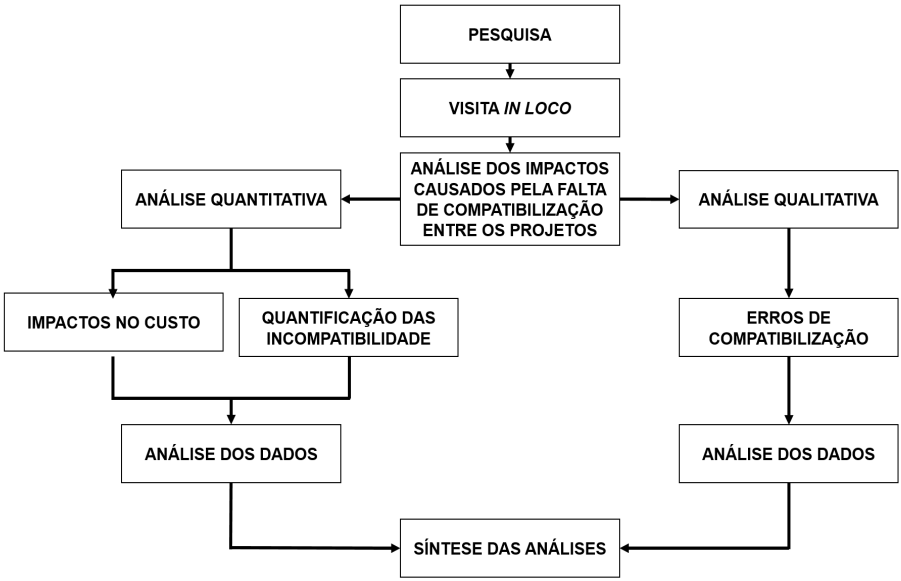


Figura 2 – Mapa das creches tipo 1 padrão FNDE em Caruaru - PE

Fonte: Autor (2020).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para obtenção dos resultados foi feito um levantamento e análise das interferências que ocorreram por falta de compatibilização entre os projetos, durante a execução da creche objeto de estudo. Após isso, foram analisados todos os problemas que ocorreram, as soluções adotadas e levantado o custo que levou para solucionar os problemas.

3.1 Levantamento de interferências de projetos

O processo de identificação das incompatibilidades entre os projetos foi realizado in loco durante o processo de execução. Após isso, foi levantada a quantidade de incompatibilidades identificadas entre os projetos arquitetônico, estrutural, elétrico e hidrossanitário.

Em seguida, foram analisados os problemas individualmente e as respectivas soluções adotadas durante a etapa de execução, com a finalidade de levantar os impactos causados no custo pela falta de compatibilização. Os dados obtidos foram agrupados e sintetizados como apresenta o Tabela 1.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	PERCENTUAL (%)
ARQUITETÔNICO / ELÉTRICO	3	4
ARQUITETÔNICO / HIDROSSANITÁRIO	16	22
ESTRUTURAL / HIDROSSANITÁRIO	53	74
TOTAL	**72**	**100**

Tabela 1 - Incompatibilidade entre projetos

Fonte: Autor (2020).

As interferências encontradas entre os projetos estrutural e hidrossanitário, subdividem-se em estrutural e água fria, estrutural e esgoto sanitário. Os problemas encontrados entre os projetos arquitetônico e hidrossanitário, resumem-se em arquitetônico e água pluvial. As incompatibilidades encontradas entre os projetos arquitetônico e elétrico, resumem-se em esquadria e elétrico, de acordo com a Tabela 2.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	PERCENTUAL (%)
ESTRUTURAL / ÁGUA FRIA	14	19,44
ESTRUTURAL / ESGOTO SANITÁRIO	39	54,16
ARQUITETÔNICO / ÁGUA PLUVIAL	16	22,22
ESQUADRIA / ELÉTRICO	3	4,18
TOTAL	**72**	**100**

Tabela 2 - Relação de interferências

Fonte: Autor (2020).

Detalhadamente e respectivamente, os problemas identificados durante a execução da creche foram: os ramais de abastecimento de água fria coincidiam com as vigas superiores, as colunas de ventilação da rede sanitária coincidiam com as vigas superiores, os ramais de água pluvial não coincidiam com o projeto arquitetônico, os pontos de tomada coincidiam com as esquadrias, conforme apresenta o Figura 3.

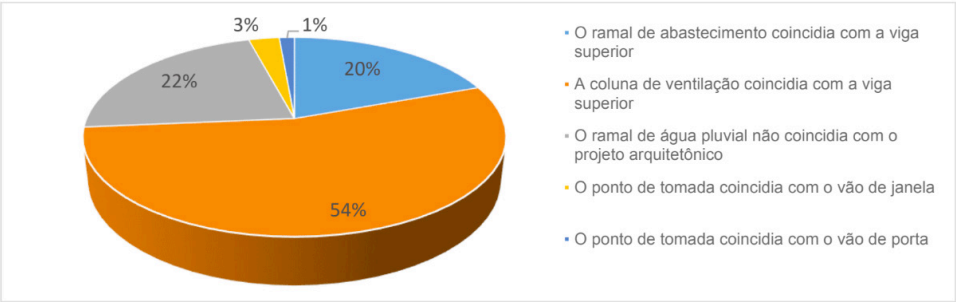


Figura 3 - Problemas encontrados

Fonte: Autor (2020).

Para os problemas apresentados entre as vigas superiores e os ramais de abastecimento de água fria a solução adotada foi desviar os ramais de abastecimento de água fria da viga superior, deixando as tubulações aparentes (Figura 4). Para os problemas apresentados entre as vigas superiores e as colunas de ventilação da rede sanitária as soluções adotadas foram relocadas as colunas de ventilação da rede sanitária para shaft's e paredes, criar shaft's para relocar as colunas de ventilação da rede sanitária e desviar as colunas de ventilação da rede sanitária da viga superior, deixando as tubulações aparentes (Figura 5).

Figura 4 e 5 - Incompatibilidade entre estrutural e água fria e Incompatibilidade entre estrutural e esgoto sanitário.

Fonte: Autor (2020).

Para os problemas apresentados entre o projeto arquitetônico e os ramais de água pluvial a solução adotada foi criar shaft's para esconder os ramais de água pluvial (Figura 6). Para os problemas apresentados entre os vãos de esquadria e os pontos de tomada a solução adotada foi relocar o ponto de tomada para lateral e para baixo (Figura 7).

Figura 6 e 7- Incompatibilidade entre arquitetônico e água pluvial e Incompatibilidade entre esquadria e elétrico

Fonte: Autor (2020).

Observou-se as soluções adotadas para os problemas identificados durante a execução da creche (Figura 8).

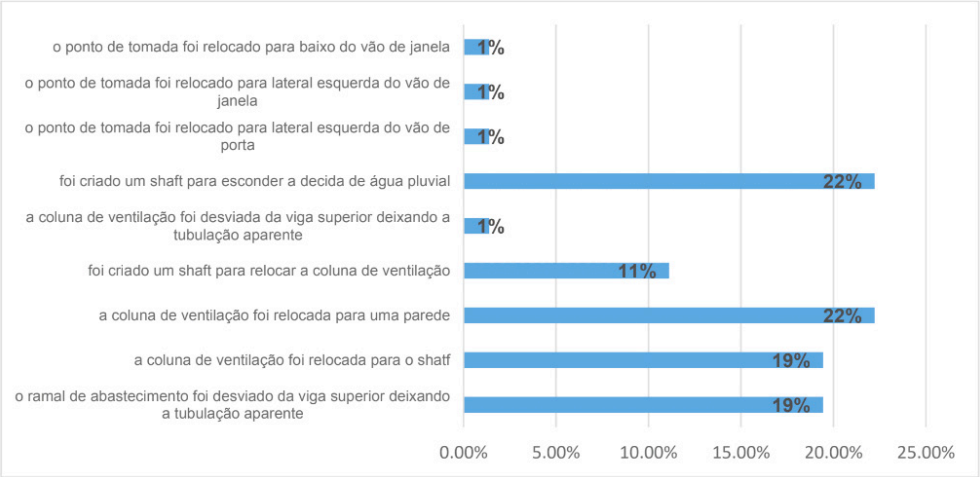


Figura 8 - Soluções adotadas

Fonte: Autor (2020).

A solução adotada para os problemas entre as vigas superiores e os ramais de abastecimento de água fria foi desviar os ramais de abastecimento de água fria de Ø50mm, Ø60mm e Ø75mm da viga superior, deixando as tubulações aparentes. Para os problemas entre as vigas superiores e as colunas de ventilação da rede sanitária foi relocar as colunas de ventilação da rede sanitária de Ø50mm e Ø75mm para shaft's, criar shaft's para as colunas de ventilação e desviar a coluna de ventilação da rede sanitária da viga superior.

Os problemas entre o projeto arquitetônico e os ramais de água pluvial foi solucionado criando shaft's para esconder os ramais de água pluvial. A solução adotada para os problemas entre os vãos de esquadria e os pontos de tomada foi relocar o ponto de tomada para lateral esquerda e para baixo do vão de janela, respectivamente. A solução adotada para os problemas entre os vãos de esquadria e os pontos de tomada foi relocar o ponto de tomada para lateral esquerda do vão de porta.

3.2 Avaliação das incompatibilidades no custo

Após o levantamento das incompatibilidades entre os projetos observadas durante a execução da creche, foram verificadas as soluções adotadas para os problemas, para criar uma planilha sintética composta pelos serviços acrescidos para solucionar as incompatibilidades e pelos valores unitários dos serviços com base na própria planilha da creche.

Os serviços acrescidos para solucionar os problemas totalizam R$ 7.591,08, (sete mil, quinhentos e noventa e um reais e oito centavos), considerando que se trata de um projeto padrão replicado nacionalmente, entende-se que o custo acrescido é bem mais expressivo. A Figura 9 apresenta o percentual de custo de cada serviço acrescido.

O serviço que exigiu maior aplicação de recursos foi o serviço de sistema de vedação vertical interno e externo (paredes) totalizou-se R$ 2.498,61 (dois mil, quatrocentos e noventa e oito reais e sessenta e um centavos) referente à 33%. No serviço de drenagem de águas pluviais totalizou-se R$ 1.266,69 (mil, duzentos e sessenta e seis reais e sessenta e nove centavos) referente à 17%. No serviço de instalação sanitária totalizou-se R$ 1.128,66 (mil, cento e vinte e oito reais e sessenta e seis centavos) referente à 15%. No serviço de instalação hidráulica totalizou-se R$ 1.093,60 (mil e noventa e três reais e sessenta centavos) referente à 14%.

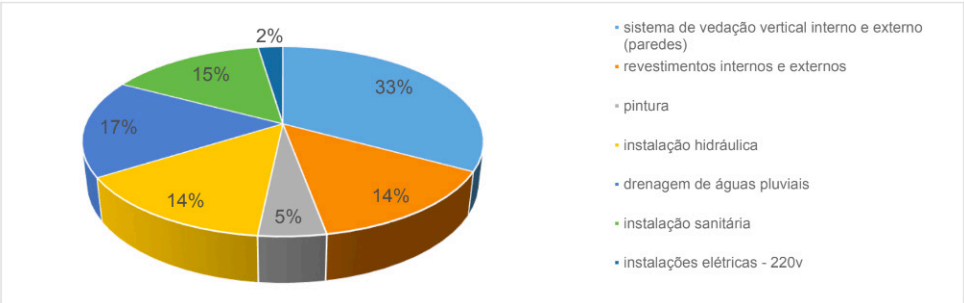


Figura 9 - Percentual de custo por serviço

Fonte: Autor (2020).

Nos serviços de revestimentos internos e externos totalizou-se R$ 1.075,87 (mil e setenta e cinco reais e oitenta e sete centavos) referente à 14%. Nos serviços de pintura totalizou-se R$ 347,59 (trezentos e quarenta e sete reais e cinquenta e nove centavos) referente à 5%. E nos serviços de instalações elétricas (220V) totalizou-se R$ 180,06 (cento e oitenta reais e seis centavos) referente à 2%.

No sistema de vedação vertical interno e externo (paredes) aplicou-se R$ 2.498,61 (dois mil, quatrocentos e noventa e oito reais e sessenta e um centavos). O item que exigiu maior aplicação de recursos foi o único item presente no serviço, ou seja, a alvenaria de vedação, representando 100% do valor total do serviço de sistema de vedação vertical interno e externo (paredes). Para levantamento do material que precisou ser acrescido foi analisado quais paredes precisaram ser acrescentados para criação de shafts para solucionar os problemas de incompatibilidades e esconder as tubulações.

Na drenagem de águas pluviais aplicou-se R$ 1.266,69 (mil, duzentos e sessenta e seis reais e sessenta e nove centavos). O item que exigiu maior aplicação de recursos foi o joelho 90 - 100mm, representando 85,54% do valor total do serviço de drenagem de águas pluviais. O tubo de PVC Ø100mm representou 14,46%.

Na instalação sanitária aplicou-se R$ 1.128,66 (mil, cento e vinte e oito reais e

sessenta e seis centavos). O item que exigiu maior aplicação de recursos foi o joelho PVC 45º 75mm, representando 41,12% do valor total do serviço de instalações sanitárias. O tubo de PVC rígido 75mm, representou 32,37%. O tubo de PVC rígido 50mm, representou 23,77%. O joelho PVC 45º 50mm, representou 1,42%. O joelho PVC 90º 50mm, representou 1,32%.

Na instalação hidráulica aplicou-se R$ 1.093,60 (mil e noventa e três reais e sessenta centavos). O item que exigiu maior aplicação de recursos foi o joelho 90 soldável 75mm, representando 42,87% do valor total do serviço de instalações sanitárias. O joelho 90 soldável 60mm, representou 41,87%. O joelho 90 soldável 50mm representou 5,12%. O tubo de PVC soldável de 60mm, representou 5,04%. O tubo de PVC soldável de 75mm, representou 3,84%. O tubo de PVC soldável de 50mm, representou 1,26%.

Nos revestimentos internos e externos aplicou-se R$ 1.075,87 (mil e setenta e cinco reais e oitenta e sete centavos). O item que exigiu maior aplicação de recursos foi o emboço, representando 42,60% do valor total do serviço de revestimento interno e externo. O reboco, representou 37,62%. O chapisco, representou 19,78%.

Na pintura aplicou-se R$ 347,59 (trezentos e quarenta e sete reais e cinquenta e nove centavos). O item que exigiu maior aplicação de recursos foi a pintura, representando 61,98% do valor total do serviço de pintura. O emassamento, representou 38,02%.

Nas instalações elétricas (220V) aplicou-se R$ 180,06 (cento e oitenta reais e seis centavos). O item que exigiu maior aplicação de recursos foi o condutor de cobre unipolar, representando 70,19% do valor total do serviço de instalações elétricas. O eletroduto PVC flexível corrugado reforçado, representou 29,81%.

O custo total dos serviços acrescidos foi de R$ 7.591,08 (sete mil, quinhentos e noventa e um reais e oito centavos), para solucionar os problemas de incompatibilidades entre os projetos encontrados durante o processo de execução. O item que maior representou no orçamento foi o serviço de sistema de vedação vertical interno e externo (paredes). O Quadro 1 apresenta todos os dados de forma sintética referente ao custo total.

PLANILHA RESUMO DE CUSTO

OBRA: CRECHE PADRÃO FNDE - TIPO 1 - BAIRRO NOVA CARUARU - CARUARU-PE
DATA BASE SINAPI/PE 06/2017 DESONERADA, ORSE 06/2017, EMLURB 12/2014, SEINFRA
BDI : 27,7 %

ITEM	CÓDIGO	FONTE	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UNID.	QUANT.	PR. UNIT.(R$) COM BDI	TOTAL
1			**SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL INTERNO E EXTERNO (PAREDES)**				**R$ 2.498,61**
			ALVENARIA DE VEDAÇÃO				
1.1	87489	SINAPI	Alvenaria de vedação de 1/2 vez em tijolos cerâmicos (dimensões nominais: 39x19x09); assentamento em argamassa no traço 1:2:8 (cimento, cal e areia) para parede interna	m²	73,64	33,93	2.498,61
2			**REVESTIMENTOS INTERNOS E EXTERNOS**				**R$ 1.075,87**
2.1	87878	SINAPI	Chapisco de aderência em paredes internas, externas, vigas, platibanda e calhas	m²	73,64	2,89	212,82
2.2	87535	SINAPI	Emboço para paredes internas e externas traço 1:2:9 - preparo manual - espessura 2,0 cm	m²	22,70	20,19	458,31
2.3	87545	SINAPI	Reboco para paredes internas, externas, pórticos, vigas, traço 1:4,5 - espessura 0,5 cm	m²	22,70	17,83	404,74
3			**PINTURA**				**R$ 347,59**
3.1	C1207	SEINFRA	Emassamento de paredes internas com massa acrílica - 02 demãos	m²	10,44	12,66	132,17
3.2	88489	SINAPI	Pintura em latex acrílico 02 demãos sobre paredes internas, externas	m²	22,70	9,49	215,42
4			**INSTALAÇÃO HIDRÁULICA**				**R$ 1.093,60**
			TUBULAÇÕES E CONEXÕES DE PVC RÍGIDO				-
4.1	89449	SINAPI	Tubo PVC soldável Ø 50 mm, fornecimento e instalação	m	1,05	13,10	13,76
4.2	89450	SINAPI	Tubo PVC soldável Ø 60 mm, fornecimento e instalação	m	2,75	20,05	55,14
4.3	89451	SINAPI	Tubo PVC soldável Ø 75mm, fornecimento e instalação	m	1,50	27,97	41,96
4.4	89501	SINAPI	Joelho 90 soldável - 50mm, fornecimento e instalação	un	6,00	9,33	55,98
4.5	89505	SINAPI	Joelho 90 soldável - 60mm, fornecimento e instalação	un	18,00	25,44	457,92
4.6	89521	SINAPI	Joelho 90 soldável - 75mm, fornecimento e instalação	un	6,00	78,14	468,84
5			**DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS**				**R$ 1.266,69**
			TUBULAÇÕES E CONEXÕES DE PVC				-
5.1	89848	SINAPI	Tubo de PVC Ø100mm, fornecimento e instalação	m	9,60	19,08	183,17
5.2	89744	SINAPI	Joelho 90 - 100mm, fornecimento e instalação	un	64,00	16,93	1.083,52
6			**INSTALAÇÃO SANITÁRIA**				**R$ 1.128,66**
6.1	89712	SINAPI	Tubo de PVC rígido 50mm, fornec. e instalação	m	13,95	19,23	268,26
6.2	89511	SINAPI	Tubo de PVC rígido 75mm, fornec. e instalação	m	15,30	23,88	365,36
6.3	89739	SINAPI	Joelho PVC 45º 75mm - fornecimento e instalação	un	34,00	13,65	464,10
6.4	89732	SINAPI	Joelho PVC 45º 50mm - fornecimento e instalação	un	2,00	8,01	16,02
6.5	89731	SINAPI	Joelho PVC 90º 50mm - fornecimento e instalação	un	2,00	7,46	14,92
7			**INSTALAÇÕES ELÉTRICAS - 220V**				**R$ 180,06**
			ELETRODUTOS E ACESSÓRIOS			-	-
7.1	91854	SINAPI	Eletroduto PVC flexível corrugado reforçado, Ø25mm (DN 1"), inclusive conexões	m	8,70	6,17	53,68
			CABOS E FIOS (CONDUTORES)				-
			Condutor de cobre unipolar, isolação em PVC/70ºC, camada de proteção em PVC, não propagador de chamas, classe de tensão 750V, encordoamento classe 5, flexível, com as seguintes seções nominais:				-
7.2	91926	SINAPI	#2,5 mm²	m	37,50	3,37	126,38
						TOTAL:	**R$ 7.591,08**

Quadro 1 – Planilha Sintética

Fonte: Autor (2020).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A creche tipo 1 padrão FNDE, é um projeto nacional para desenvolvimento da educação infantil no Brasil. No município de Caruaru contempla 5 (cinco) creche deste tipo, onde três delas já estão construídas e duas em etapa de construção. Como os projetos foram elaborados antes do decreto nº 9.983 de 22 de agosto de 2019 do Governo Federal, trata-se de uma elaboração sem a ferramenta BIM, onde deixa algumas incompatibilidades entre seus projetos.

Após identificar e quantificar as incompatibilidades presentes nos projetos estrutural e hidrossanitário, arquitetônico e hidrossanitário, arquitetônico e elétrico, foi realizada uma análise das soluções adotadas durante a execução para as interferências encontradas entre os projetos. Devido a necessidade de acrescentar os serviços para solucionar os problemas ocorridos foi feito um levantamento dos itens para quantificar o impacto no custo, para atribuir os valores adotados na planilha dos itens acrescidos, foi utilizado como base os valores apresentados na planilha orçamentária da própria creche, que sua base é SINAPI/PE 06/2017 desonerada, ORSE 06/2017, EMLURB 12/2014 e SEINFRA, adotando um BDI de 27,7%.

Foram identificadas 72 interferências durante a etapa de execução por falta de compatibilização entre os projetos, foi feito um levantamento dos itens que precisaram ser acrescidos para as soluções adotadas, o valor total desses serviços foi de R$ 7.591,08, (sete mil, quinhentos e noventa e um reais e oito centavos). Os projetos que apresentaram maiores interferências foram entre o estrutural e hidrossanitário, já o item que demonstrou um valor maior foi o serviço de sistema de vedação vertical interno e externo (paredes), com um valor de R$ 2.498,61 (dois mil, quatrocentos e noventa e oito reais e sessenta e um centavos).

Para evitar problemas decorridos da falta de compatibilização entre os projetos, é indicado a utilização da ferramenta BIM, pois é possível observar com antecedência os problemas de incompatibilidade, sendo possível soluciona-los na fase de elaboração, potencializando o desempenho na fase de execução e otimizando o custo final do empreendimento.

Com o incentivo do Governo Federal para a utilização da ferramenta BIM nas obras públicas, será possível fazer o uso das dimensões (3D ao 7D) da obra para obter melhores resultados e evitar problemas durante as etapas de construção e utilização do empreendimento.

A ferramenta BIM vai além da modelagem de um produto ou compatibilização de projetos, nele é possível englobar todos os aspectos relativos ao empreendimento, desde os produtos e processos, até a documentação.

Portanto, se os projetos da creche tipo 1 padrão FNDE fossem elaborados utilizando o BIM, os problemas ocorridos durante a execução seriam solucionados durante a etapa de

elaboração, onde evitaria impactos no custo nacionalmente.

Propõe-se como sugestão para um trabalho futuro o desenvolvimento de uma análise dos impactos no tempo causados pelas incompatibilidades entre projetos da creche tipo 1 padrão FNDE.

REFERÊNCIAS

BASTOS, Cleverson Leite; KELLER, Vicente. **Aprendendo a aprender:** introdução à metodologia científica. 29.ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2015. 112 p.

FNDE. "**Sobre o proinfância**". 2017. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/proinfancia>. Acesso em: 22/07/2019.

INBEC. "**Uso do BIM será obrigatório a partir de 2021 nos projetos e construções brasileiras**". 2018. Disponível em: <https://www.inbec.com.br/blog/uso-bim-sera-obrigatorio-partir-2021-projetos-construcoes-brasileiras>. Acesso em: 21/07/2019.

PAIVA, Daniel. **Uso do BIM para compatibilização de projetos:** barreiras e oportunidades em uma empresa construtora. Artigo Científico - submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte. 23 p, 2016.

PLANALTO. "**Decreto Nº 9.377, de 17 de maio de 2018**". 2018. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Decreto/D9377.htm>. Acesso em: 24/07/2019.

PLANALTO. "**Decreto Nº 9.983, de 22 de agosto de 2019**". 2019. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/Decreto/D9983.htm>. Acesso em: 04/09/2019.

PMI. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos**. Guia PMBOK® 6a. ed. EUA: Project Management Institute, 2017.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. D. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2ª. ed. Novo Hamburgo: Universidade** Freevale, 2013.

TCU. **Obras públicas**: Recomendações básicas para a contratação e fiscalização de obras de edificações públicas. 4. ed. Brasília: Secretaria-Geral da Presidência Secretaria de Comunicação Núcleo de Criação e Editoração. 2014.

CAPÍTULO 7

ESTIMAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DIFERENTES AGENTES ARRASTADORES NA MISTURA AZEOTRÓPICA ÁGUA/1-PROPANOL POR MEIO DO XSEOS

Data de aceite: 04/01/2021

Erich Potrich
Universidade do Estado do Amapá (UEAP)
Macapá – AP

Larissa Souza Amaral
Universidade de São Paulo (USP)
São Carlos – SP
http://lattes.cnpq.br/2125269475429446
https://orcid.org/0000-0003-3796-0032

RESUMO: Azeotropia é um problema recorrente na indústria para a obtenção de substâncias mais puras e/ou concentradas. A mistura líquido-líquido binária de água e 1-propanol apresenta um ponto de azeotropia quando a mistura contém cerca de 42% molar de 1-propanol à 1 atm. Uma maneira de contornar esse problema é a adição de um agente arrastador que altera as interações moleculares e muda o azeótropo. Este trabalho avalia os efeitos de 24 diferentes compostos arrastadores na mistura água e 1-propanol quanto ao rendimento da destilação. A adição de um arrastador na mistura possibilita uma separação mais eficiente, principalmente se formar um ponto de azeotropia heterogênea ternária. O efeito desse arrastador foi determinado pelo método de contribuição de grupos UNIFAC, utilizando-se da abordagem computacional do XSEOS.
PALAVRAS-CHAVE: Arrastador, Azeotropia, Equilíbrio Líquido-Líquido, Mistura água/1-propanol, XSEOS.

ABSTRACT: Azeotropy is a recurring problem in the industry for obtaining purer and/or concentrated substances. The binary liquid-liquid mixture of water and 1-propanol shows an azeotropy point when the mixture contains about 42 % molar of 1-propanol at 1 atm. One way around this problem is to add an entraining agent that alters molecular interactions and changes the azeotrope. This work evaluates the effects of 24 different entraining compounds in the water and 1-propanol mixture in terms of distillation yield. The addition of an entrainer in the mixture allows for a more efficient separation, especially if a heterogeneous ternary azeotropy point is formed. The effect of this entrainer was determined by the UNIFAC group contribution method, using the XSEOS computational approach.
KEYWORDS: Entrainer, Azeotropy, Liquid-Liquid Equilibrium, Water/1-propanol mixture, XSEOS.

INTRODUÇÃO

Destilação azeotrópica heterogênea é um processo largamente praticado para a desidratação de uma vasta gama de materiais, incluindo ácido acético, clorofórmio, etanol, e muitos álcoois superiores. Segundo Benedict e Rubin (1945), o princípio da destilação azeotrópica consiste em adicionar uma nova substância (arrastador) a uma mistura, de maneira a aumentar a volatilidade relativa das dois componentes chaves e tornar, assim, relativamente fácil a separação. A substância adicionada forma um azeótropo com um ou mais dos constituintes da mistura e, em

consequência, está presente na maioria dos pratos da coluna em concentração apreciável.

Dadas as não idealidades, a divisão de fases, os limites de destilação presentes, e à possível existência de múltiplos estados estacionários em tal sistema, colunas como estas podem ser extremamente difíceis para simular e para operar. Uma abordagem computacional para o problema pode poupar muitas dores de cabeça (TAYLOR e KRISHNA, 2000).

Dentre das várias abordagens computacionais possíveis, destaca-se o XSEOS, devido ao seu baixo gasto computacional e sua fácil instalação. O XSEOS é um add-in gratuito para Excel para o cálculo de propriedades termodinâmicas. Com mais de 22.000 linhas de comando, cobre várias áreas da Termodinâmica da Engenharia Química. A sua utilização e funcionamento foi descrito por Castier (2008).

Dos vários modelos termodinâmicos que o XSEOS calcula, o UNIFAC é um dos métodos mais utilizados. O método UNIFAC supõe que a mistura líquida é uma solução das unidades estruturais (denominadas grupos e subgrupos) que constituem as moléculas em vez de considerá-las como uma mistura das próprias moléculas. Desta maneira, as propriedades de uma mistura podem ser representadas pela soma das contribuições individuais de cada um dos grupos que compõem a mesma (DONG *et al.*, 2020).

MATERIAIS E MÉTODOS

Um ponto de azeotropia ocorre quando a fração molar da fase líquida (Xi) é igual a fração molar da fase vapor (Yi). O equilíbrio líquido-vapor da mistura 1-propanol e água, inclusive seu ponto de azeotropia, está representado na Figura 1. Um esquema de separação por coluna destilação e decantadores entre água e 1-propanol por meio do arrastador éter di-isopropílico está respresentado na Figura 2.

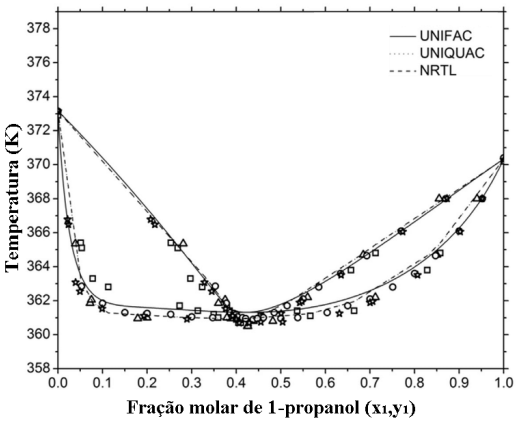


Figura 1. Equilíbrio líquido-vapor da mistura 1-propanol e água à 1 atm.

Fonte: Adaptado de Devi *et al.* (2017).

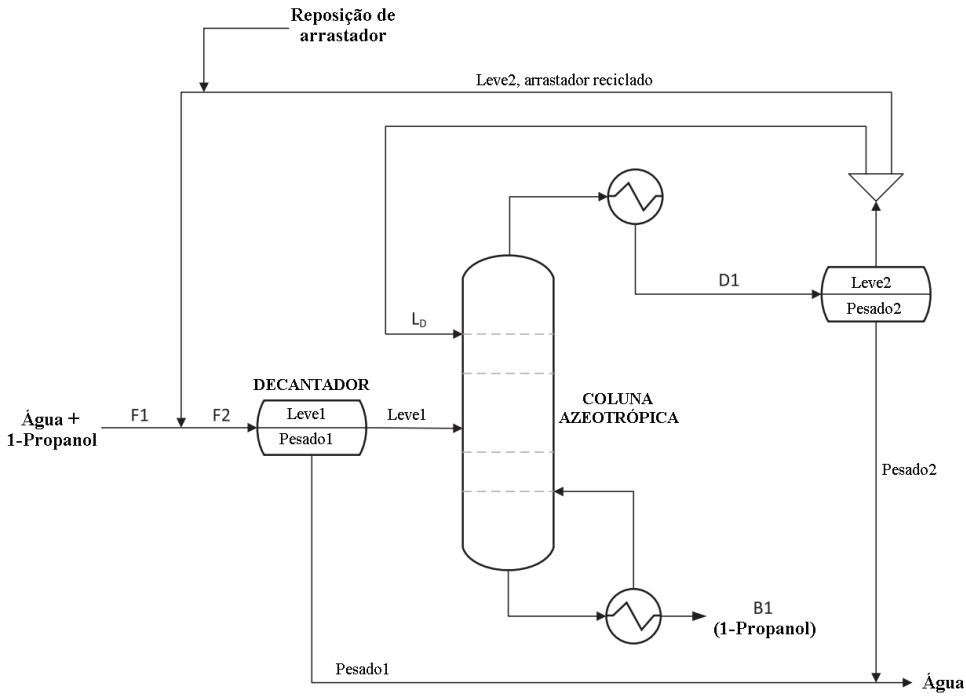


Figura 2. Sequência geral de destilação azeotrópica da mistura água/1-propanol com separação com o auxílio do arrastador éter di-isopropílico.

Fonte: Adaptado de Pla-Franco *et al*. (2019).

No caso de um azeótropo heterogêneo, duas fases líquidas ocorrem. As frações molares das fases líquidas devem estar relacionadas com a fração molar geral da fase líquida de acordo com o seguinte balanço de conservação de mols:

$$X_i \cdot Ml = x_i^{alfa} \cdot Ml^{alfa} + x_i^{beta} \cdot Ml^{beta} \quad (1)$$

e

$$Ml = Ml^{alfa} + Ml^{beta} \quad (2)$$

Onde: Ml é o número de mols total das fases líquidas, x_i^{alfa} é a fração molar de i na fase líquida alfa, Ml^{alfa} é o número de mols da fase alfa, x_i^{beta} é a fração molar de i na fase beta e Ml^{beta} é o número de mols da fase beta.

No azeótropo heterogêneo, as fases líquidas estão em equilíbrio entre si e também com a fase vapor, logo as seguintes condições devem ser satisfeitas:

$$y_i \cdot P = x_i^{alfa} \cdot \gamma_i^{alfa} \cdot P_i^{sat} = x_i^{beta} \cdot \gamma_i^{beta} \cdot P_i^{sat} \quad (3)$$

Onde: P é a pressão total do sistema, Υ_i^{alfa} é o coeficiente de atividade de i na fase líquida alfa, P_i^{sat} é a pressão de saturação e i na temperatura do sistema e Υ_i^{beta} é o coeficiente de atividade de i na fase líquida beta. Os coeficientes de atividade foram calculados utilizando o modelo UNIFAC. As pressões de saturação foram calculadas de acordo com as equações presentes no software DIADEM.

$$P_{sat} = \exp(A + \frac{B}{T} + C.lnT + DT^E) \tag{4}$$

Onde a temperatura (T) é dada em Kelvin (K) e Psat é dada em Pascal (Pa). As constantes A, B, C, D e E variam para cada substância e foram retiradas da base de dados do DIADEM.

Para que todas as condições citadas acima fossem satisfeitas, a minimização da seguinte função objetivo foi realizada no programa Excel para Windows, utilizando a ferramenta “Solver”:

$$FO = Erro1 + Erro2 + Erro3 \tag{5}$$

Sendo:

$$Erro1 = \sum_{i=1}^{NC} (X_i - y_i)^2 \tag{6}$$

$$Erro2 = \sum_{i=1}^{NC} \left(X_i \cdot Ml - \left(x_i^{alfa} \cdot Ml^{alfa} + x_i^{beta} \cdot Ml^{beta}\right)\right)^2 \tag{7}$$

$$Erro3 = \sum_{i=1}^{NC} \left(x_i^{alfa} \cdot \gamma_i^{alfa} - x_i^{beta} \cdot \gamma_i^{beta}\right)^2 \tag{8}$$

Onde FO é a função objetivo, Erro1 é o erro associado à condição de azeotropia, Erro2 é o erro associado a condição de conservação de número de moles das fases líquidas e Erro3 é o erro associado à condição de equilíbrio entre as duas fases líquidas.

Durante o processo de minimização, as frações molares gerais da fase líquida, as frações molares de cada fase líquida, o número de mols da fase alfa, e a temperatura do sistema foram considerados as variáveis de decisão (ou seja, foram as variáveis ajustadas para minimizar a função objetivo). As frações molares da fase vapor e o número de mols da fase líquida beta foram calculados da seguinte forma:

$$y_i = \frac{x_i^{alfa} \cdot \gamma_i^{alfa} \cdot P_i^{sat}}{P} \tag{9}$$

$$Ml^{beta} = 1 - Ml^{alfa} \tag{10}$$

O valor de 1 na equação acima foi a base de cálculo escolhida para o número total

de moles nas fases líquidas.

É necessário, primeiramente, o teste da metodologia em vários equilíbrios azeotropos ternários, os dados encontrados na literatura foram do equilíbrio água-propanol-arrastador. Na Tabela 1 temos os dados retirados de Dimian *et al.* (2004) para 11 diferentes arrastadores.

Arrastador	Azeótropo heterogêneo ternário			Temperatura do azeótropo (ºC)
	Água	1-Propanol	Arrastador	
Hexano	0,1900	0,0940	0,7160	59,23
Heptano	0,3810	0,2100	0,4090	75,30
Octano	0,4850	0,2910	0,2240	81,40
Nonano	0,5655	0,3170	0,1175	85,40
2,2,4-trimetilpentano	0,4400	0,2080	0,3520	73,89
1-hexeno	0,0570	0,1530	0,7900	57,07
1-hepteno	0,3330	0,1910	0,4760	73,34
1-octeno	0,4610	0,2880	0,2510	81,57
Ciclohexano	0,2936	0,1036	0,6028	66,55
Ciclohexeno	0,2890	0,1150	0,5960	68,50
1,3-Ciclo-hexadieno	0,2730	0,1040	0,6230	67,75

Tabela 1. Dados experimentais retidos da literatura das frações molares dos equilíbrios ternários Água+1-Propanol+Arrastador.

Fonte: Baseado em Dimian *et al.* (2004).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 é apresentado os dados calculados utilizando-se do XSEOS para os mesmos 11 arrastadores da Tabela 1.

Arrastador	Azeótropo heterogêneo ternário (% Erro)			Temperatura do azeótropo (ºC)
	Água	1-Propanol	Arrastador	
Hexano	0,1873 (1,42%)	0,1008 (7,23%)	0,7119 (0,57%)	59,92 (1,16%)
Heptano	0,3584 (5,93%)	0,2015 (4,05%)	0,4400 (7,58%)	74,65 (0,86%)
Octano	0,4805 (0,93%)	0,2886 (0,82%)	0,2308 (3,04%)	82,11 (0,87%)
Nonano	0,5449 (3,64%)	0,3440 (8,52%)	0,1111 (5,45%)	85,59 (0,22%)

2,2,4-trimetilpentano	0,3543 (19,48%)	0,2063 (0,82%)	0,4394 (24,83%)	74,53 (0,87%)
1-hexeno	0,1662 (191,58%)	0,0826 (46,01%)	0,7512 (4,91%)	57,00 (0,12%)
1-hepteno	0,3393 (1,89%)	0,1872 (1,99%)	0,4735 (0,53%)	73,26 (0,11%)
1-octeno	0,4704 (2,04%)	0,2768 (3,89%)	0,2528 (0,72%)	81,45 (0,15%)
Ciclohexano	0,2566 (12,60%)	0,1343 (29,63%)	0,6091 (1,05%)	66,72 (0,26%)
Ciclohexeno	0,2746 (4,98%)	0,1400 (21,74%)	0,5853 (1,80%)	68,15 (0,51%)
1,3-Ciclo-hexadieno	0,2634 (3,52%)	0,1328 (27,69%)	0,6038 (3,08%)	67,16 (0,87%)
Média ± DP	22,55±56,34	13,85±15,12	4,87±7,01	0,55±0,39

Tabela 2. Valores calculados pelo XSEOS das frações molares dos equilíbrios ternários Água+1-Propanol+Arrastador.

Com base nos dados da Tabela 1, foi calculado o erro relativo de cada mistura ternária na Tabela 2, em que os valores dos erros estão entre parênteses. Além disso, calculou-se o desvio padrão (DP) dos erros. Apesar do 1-hexeno apresentar um alto erro relativo, ele apresenta um baixo erro absoluto. Além de que essa porcentagem mais elevada de erro se deve por o valor real se aproximar de zero, sendo que todo denominador que tende o valor para zero faz elevar o valor da divisão. Devido aos baixos valores dos erros, comprovou-se a eficiência da metodologia.

Estimou-se os valores das composições globais e a temperatura do ponto azeotrópico para 24 diferentes arrastadores alcanos e alcenos, determinando se há ou não azeotropia e qual seria o tipo, se binária ou ternária. Os valores estimados estão na tabela 3.

Arrastador	Azeótropo heterogêneo ternário			Temperatura do azeótropo (ºC)	Tipo de Azeotropia
	Água	1-Propanol	Arrastador		
Etano	0,0001	0,0002	0,9998	-88,63	Nenhuma
Propano	0,0003	0,0003	0,9994	-41,96	Nenhuma
Butano	0,0003	0,0003	0,9994	-0,25	Nenhuma
Isobutano	0,0035	0,0022	0,9943	-11,70	Nenhuma
Pentano	0,0538	0,0228	0,9234	34,62	Ternária
Isopentano	0,0432	0,0136	0,9432	26,73	Ternária
2-metilpentano	0,3166	0,0003	0,6832	44,50	Binária
3-metilpentano	0,3340	0,0003	0,6657	46,07	Binária

2-metilhexano	0,4892	0,0000	0,5108	58,52	Binária
3-metilhexano	0,4980	0,0000	0,5020	59,29	Binária
Decano	0,7893	0,0000	0,2107	80,35	Binária
1-propeno	0,0006	0,0002	0,9992	-47,59	Nenhuma
1-buteno	0,0145	0,0002	0,9853	-6,39	Binária
1-penteno	0,1342	0,0003	0,8656	26,70	Binária
1-noneno	0,7308	0,0004	0,2688	76,72	Binária
1-deceno	0,9819	0,0003	0,0178	60,75	Binária
Ciclopropano	0,0005	0,0003	0,9991	-32,66	Nenhuma
Ciclobutano	0,0146	0,0048	0,9806	12,44	Binária
Ciclopentano	0,0967	0,0423	0,8610	45,72	Ternária
Cicloheptano	0,0000	0,6362	0,3638	92,09	Binária
Ciclooctano	0,0060	0,8899	0,1041	97,02	Binária
Ciclopenteno	0,0822	0,0319	0,8859	42,04	Ternária
Ciclohepteno	0,4445	0,2524	0,3031	79,93	Ternária
Cicloocteno	0,5779	0,4215	0,0005	88,24	Binária

Tabela 3. Valores estimados via XSEOS das frações molares dos equilíbrios ternários Água+1-Propanol+Arrastador.

Na Tabela 3 pode-se ver que dos 24 arrastadores: 6 não apresentam nenhuma azeotropia, 13 apresentam azeotropia binária e 5 apresentam azeotropia ternária.

CONCLUSÕES

A ferramenta XSEOS se mostra de fácil implementação e de baixa demanda computacional. Além disso, a metodologia aqui empregada se mostrou uma ferramenta útil na estimativa de equilíbrios azeotrópicos não disponíveis na literatura ou de difícil obtenção experimental, devido a ser uma ferramenta gratuita e os seus resultados serem próximos dos da literatura.

REFERÊNCIAS

BENEDICT, M.; RUBIN, L.C. **Extractive and azeotropic distillation**. Transactions of the American Institute of Chemical Engineers, v. 41 p. 353, 1945.

CASTIER, M. **XSEOS: an Open Software for Chemical Engineering Thermodynamics**. Chemical Engineering Education, v. 42(2), p. 74-81, 2008.

DEVI, V.K.P.J.; SAI, P.S.T.; BALAKRISHNAN, A.R. **Heterogeneous azeotropic distillation for the separation of n-propanol + water mixture using n-propyl acetate as entrainer**. Fluid Phase Equilibria, v. 447, p. 1-11, 2017.

DIMIAN, A.C.; OMOTA, F.; BLIEK, A. **Entrainer-Enhanced Reactive Distillation**. Chemical Engineering and Processing, v. 43, p. 411-420, 2004.

DONG, Y.; GUO, Y.; ZHU, R.; ZHANG, J.; LEI, Z. **UNIFAC Model for Ionic Liquids. 2. Revision and Extension**. Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 59, p. 10172-10184, 2020.

PLA-FRANCO, J.; LLADOSA, E.; LORAS, S.; MONTÓN, J.B. **Azeotropic dislattion for 1-propanol dehydration with diisopropyl ether as entrainer: Equilibrium data and process simulation**. Separation and Purification Technology, v. 212, p. 692-698, 2019

TAYLOR, R.; KRISHNA, R. **Review: modelling reactive distillation**. Chemical Engineering Science, v.55, p.5183-5229, 2000.

CAPÍTULO 8

PROJETO DE ELEMENTOS FINITOS: FLEXÃO EM BARRAS COM DIFERENTES MATERIAIS

Data de aceite: 04/01/2021

Gabriel Brandão Santos
Universidade Federal do Pará
Belém - PA
http://lattes.cnpq.br/2705241471733130

Gleidson Silva Figueiredo
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – Santa Catarina
http://lattes.cnpq.br/5774781933461733

Jullyane Milena Silva de Figueiredo
Universidade Federal do Pará
Belém - PA
http://lattes.cnpq.br/4791661332315212

RESUMO: Muitas indústrias produzem elementos estruturais constituídos de dois ou mais materiais diferentes, buscando assim, a capacidade destes de suportar de modo mais eficaz cargas aplicadas. Esses elementos são chamados de materiais compostos e um exemplo destes são as barras compostas. Devido à importância dessas barras, este trabalho traz uma análise do comportamento mecânico destes materiais quando são flexionados devido a momentos fletores aplicados em planos dos eixos de simetria e fora destes. Para se obter uma análise mais eficiente do comportamento dessas barras tornou-se necessário o uso do software ANSYS, que utiliza o método dos elementos finitos (MEF) para a solução de diversos problemas em engenharia. Assim, com o uso do ANSYS, foi possível simular o comportamento mecânico, tensões e deformações atuantes, da barra com boa precisão ao longo de todo o seu comprimento quando está fora flexionada devido a momentos fletores aplicados.

PALAVRAS-CHAVE: Elementos finitos; ANSYS; Flexão; Barras.

FINITE ELEMENTS DESIGN: BENDING IN BARS WITH DIFFERENT MATERIALS

ABSTRACT: Many industries produce structural elements consisting of two or more different materials, thus seeking their ability to more effectively support applied loads. These elements are called composite materials and an example of these are the composite bars. Due to the importance of these bars, this work brings an analysis of the mechanical behavior of these materials when they are flexed due to bending moments applied in planes of the symmetry axes and outside of them. In order to obtain a more efficient analysis of the behavior of these bars, it was necessary to use the ANSYS software, which uses the finite element method (MEF) to solve various engineering problems. Thus, with the use of ANSYS, it was possible to simulate the mechanical behavior, stresses and deformations acting, of the bar with good precision along its entire length when it is flexed out due to applied bending moments.

KEYWORDS: Finite elements; ANSYS; Flexion; Bars.

1 I INTRODUÇÃO

Com o intenso crescimento das cidades em todo o mundo aumenta, também, como

consequência, o número de estruturas de grande porte que são empregadas em edifícios, pontes, etc. Para isso, faz-se necessário a utilização de materiais que possam garantir uma integridade estrutural eficiente, a fim de que, possam ser evitados prejuízos econômicos e vidas não sejam perdidas. Pensando nisso, muitas indústrias produzem elementos estruturais constituídos de dois ou mais materiais diferentes, aumentando assim, a capacidade destes de suportar de modo mais eficaz cargas aplicadas. Esses elementos são chamados de materiais compostos e um exemplo destes são as barras compostas. Devido à importância dessas barras, este trabalho traz uma análise do comportamento mecânico destes materiais quando são flexionados devido a momentos fletores aplicados em planos dos eixos de simetria e fora destes.

Para se obter uma análise mais eficiente do comportamento dessas barras tornou-se necessário o uso do software ANSYS, que utiliza o método dos elementos finitos (MEF) para a solução de diversos problemas em engenharia. O método dos elementos finitos é uma importante ferramenta computacional que permite realizar uma grande quantidade de operações matemáticas que se fossem feitos manualmente gastariam muito tempo e seriam muitos difíceis. De maneira geral, a ideia básica do MEF é dividir o corpo, domínio, em número finito de elementos, subdomínios, com determinadas formas geométricas, ou seja, este método divide um problema grande em outros menores que permite com que o computador possa realizar vários cálculos na solução dos problemas menores e somar tudo no final. Os subdomínios recebem o nome de elementos finitos que estão conectados entre si por um número finito de pontos nodais, nós, e, ao conjunto de todos esses itens, dá-se o nome de malha. A melhor precisão dos resultados depende, por sua vez, da quantidade de nós e elementos, do tamanho e dos tipos de elementos da malha.

Portanto, com o uso do ANSYS, foi possível simular o comportamento mecânico, tensões e deformações atuantes, da barra com boa precisão ao longo de todo o seu comprimento quando está fora flexionada devido a momentos fletores aplicados.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os elementos de viga são elementos lineares que apresentam uma das dimensões muito maior do que as outras duas (dimensões da seção transversal) e que está submetido a cargas perpendiculares ao seu eixo longitudinal. Nesses elementos, desenvolvem-se em suas seções transversais momento fletor e esforço cortante, sendo o primeiro responsável pela flexão e o segundo pelo cisalhamento da viga. O esforço cortante tem na maioria das vezes uma influência desprezível no comportamento da peça e podemos, com a finalidade acadêmica, desprezá-lo, estudando o efeito apenas da flexão isolada. Assim podemos classificar a flexão em: pura e simples.

É necessário analisar também a posição do carregamento em relação à posição da seção transversal da peça. Convencionando por x e y os eixos principais centrais de inércia

da seção transversal da viga e aplicando carregamentos das seguintes formas:

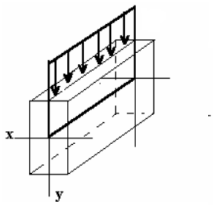


Figura 1. Carregamento no eixo y

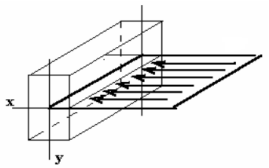


Figura 2. Carregamento no eixo x

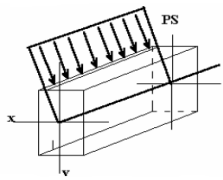


Figura 3. Carregamento fora dos eixos principais

Analisando as situações, podemos classificar a flexão em: reta, a qual ocorre quando o carregamento está atuando em um dos eixos principais centrais de inércia da seção (x ou y). E oblíqua, a qual ocorre quando o carregamento é desviado em relação aos eixos principais centrais de inércia da seção.

2.1 Barra sob Flexão Pura

Considerando uma barra prismática *AB* possuindo um plano de simetria e submetida a conjugados iguais e opostos *M* e *M'* atuando naquele plano podemos observar que, se uma seção da barra *AB* for cortada em um ponto qualquer *C*, as condições de equilíbrio da parte *AC* da barra requerem que os esforços internos na seção sejam equivalentes ao conjugado *M*. O momento *M* daquele conjugado é chamado de momento fletor na seção.

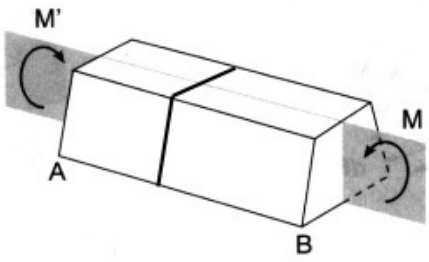


Figura 4. Barra sob conjugado M e M'.

Chamando de σ_x a tensão normal em um ponto da seção transversal e τ_{xy} e τ_{xz} as componentes da tensão de cisalhamento, expressamos que o sistema das forças internas elementares que atuam na seção é equivalente ao momento fletor *M*.

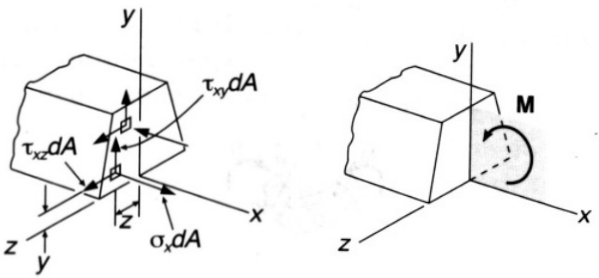


Figura 5. Representação do equivalente de forças.

Da estática sabemos que a soma das componentes de forças em qualquer direção é igual a zero. Além disso, o momento fletor é o mesmo em relação a qualquer eixo perpendicular a seu plano, e é zero em relação a qualquer eixo contido naquele plano.

$$\sum \boldsymbol{Fx} = \mathbf{0} \;.\!:\; \int \boldsymbol{\sigma x}\, \boldsymbol{dA} = \mathbf{0} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

$$\sum \boldsymbol{My} = \mathbf{0} \;.\!:\; \int \boldsymbol{z\sigma x}\, \boldsymbol{dA} = \mathbf{0} \qquad \text{(Eq. 2)}$$

$$\sum \boldsymbol{Mz} = \mathbf{0} \;.\!:\; \int (-\boldsymbol{y\sigma x}\, \boldsymbol{dA}) = \mathbf{0} \qquad \text{(Eq. 3)}$$

2.2 Deformações sob Flexão Pura

Analisando um trecho de viga submetida a flexão pura (figura 6) , o momento fletor é constante para qualquer seção transversal e a viga se flexiona de maneira uniforme. Assim, a linha *AB* na face superior da viga tem uma curvatura constante, o mesmo acontece com a linha *A'B'*, na face inferior da viga.

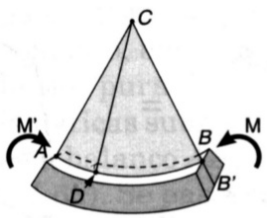


Figura 6.
Representação da viga
sob flexão pura.

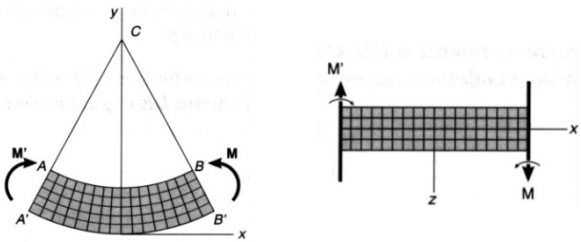


Figura 7. Seções verticais e horizontais longitudinais.

Supondo que a viga seja dividida em um grande número de cubos elementares com faces paralelas aos eixos de coordenadas. Todas as faces estão a 90º uma da outra. Assim

concluímos que na superfície σ_y, σ_z e τ_{yz} são zero.

Logo, a única componente de tensão que não se anula é a componente σ_x. Desse modo em qualquer ponto de uma barra submetida à flexão pura, tem-se um estado uniaxial de tensões.

Para *M>0*, observa-se que as linhas *AB* e *A'B'* diminuem e aumentam em comprimento respectivamente e nota-se que a deformação específica εx e a tensão σx são negativas na parte superior da viga (compressão) e positivas na parte inferior (tração). Apenas na chamada superfície neutra εx e σx são zero, pois essa superfície intercepta o plano de simetria, é paralelo às faces superior e inferior.

A deformação normal específica é avaliada como a razão entre a variação de comprimento e o seu comprimento original, resultando em:

$$\epsilon x = -\frac{y}{\rho} \qquad \text{(Eq. 4)}$$

O sinal negativo indica que a deformação é de compressão para um ponto y positivo (acima da linha neutra).

2.3 Tensões e Deformações no Regime Elástico

Consideramos que o momento fletor *M* seja de forma que as tensões normais na viga permanecem abaixo da tensão de escoamento do material σ_E. Não haverá deformação permanente, e vale a lei de Hooke para tensão uniaxial. Considerando que o material seja homogêneo, e chamando de E seu módulo de elasticidade, temos na direção longitudinal x: $\sigma_x = E\varepsilon_x$.

Portanto a distribuição de tensões normais está diretamente associada à distribuição de deformações normais εx. Assim podemos dizer que σx varia linearmente com a distância *y* da linha neutra, ao longo da seção transversal. Logo:

$$\sigma x = -E\frac{y}{\rho} \qquad \text{(Eq. 5)}$$

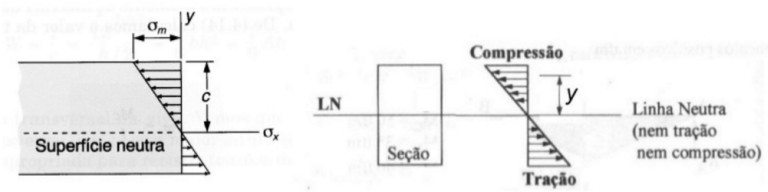


Figura 8. Distribuição das tensões normais variando com a distância y.

A partir das relações constitutivas, para um estado uniaxial em um material linear elástico e do equilíbrio estático chegamos em:

$$\sigma_x = -\frac{My}{I} \qquad \text{(Eq. 6)}$$

Onde *M* é o momento fletor, *y* é a distância do ponto de análise até a linha neutra e *I* o momento de inércia de área da seção transversal.

2.4 Flexões em Barras com Diferentes Materiais

As vigas são muitas vezes constituídas por mais que um material constituindo as chamadas vigas não homogêneas. Alguns exemplos de vigas deste tipo são vigas de madeira reforçadas a aço, viga constituída de dois materiais metálicos. A teoria da flexão de vigas sujeitas a momentos fletores pode ser facilmente adaptada ao estudo de vigas constituídas por dois ou mais materiais.

Considerando uma barra formada por dois materiais diferentes unidos. Essa barra composta se deformará conforme já mencionado, pois sua seção transversal permanece a mesma em todo o comprimento. Assim, a deformação específica normal σx ainda varia linearmente com a distância *y* da linha neutra da seção.

$$\varepsilon_x = -\frac{y}{\rho} \qquad \text{(Eq. 7)}$$

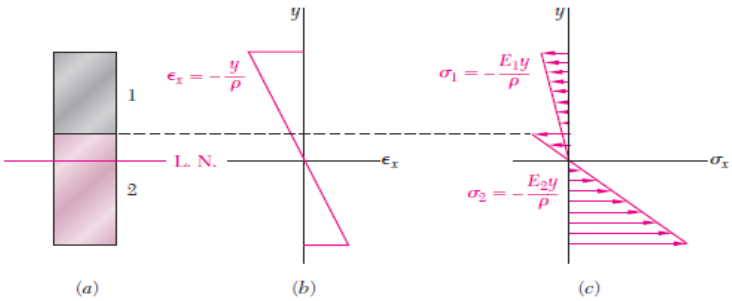


Figura 9. Distribuição de deformação específica.

No entanto, não podemos supor que a linha neutra passe pelo centróide da seção composta. Como os módulos de elasticidade *E1* e *E2* dos dois materiais são diferentes, as expressões obtidas para a tensão normal em cada material também serão diferentes. Considerando *E2>E1*:

$$\sigma_1 = E_1\varepsilon_x = -\frac{E_1 y}{\rho} \qquad \text{(Eq. 8)}$$

$$\sigma_2 = E_2\varepsilon_x = -\frac{E_2 y}{\rho} \qquad \text{(Eq. 9)}$$

Obtemos uma curva de distribuição de tensões consistindo em dois segmentos de

reta. Conclui-se das equações acima que a forças *dF* que atuam no elementos de área *dA* da são:

$$d_{F1} = \sigma_1 dA = -\frac{E_1 y}{\rho} dA \qquad \text{(Eq. 10)}$$

$$d_{F2} = \sigma_2 dA = -\frac{E_2 y}{\rho} dA \qquad \text{(Eq. 11)}$$

Chamando de *n* a relação E2/E1, temos:

$$d_{F2} = -\frac{(nE_1)y}{\rho} dA = -\frac{E_1 y}{\rho}(ndA) \qquad \text{(Eq. 12)}$$

Nota-se que a mesma força dF_2 atuaria em um elemento de área *ndA* do primeiro material, assim:

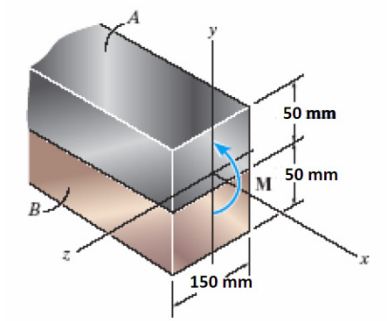
$$\sigma_1 = \sigma_x \quad e \quad \sigma_2 = n\sigma_x$$

A análise para situações como esta deve ser da seguinte forma:

Primeiro definimos um material de referência (de preferência, o de menor módulo de elasticidade) e modificamos as áreas dos outros materiais (em dimensão na direção paralela à linha neutra. A modificação é feita a partir da relação do módulo de elasticidade do material de cada parte com o do material de referência.

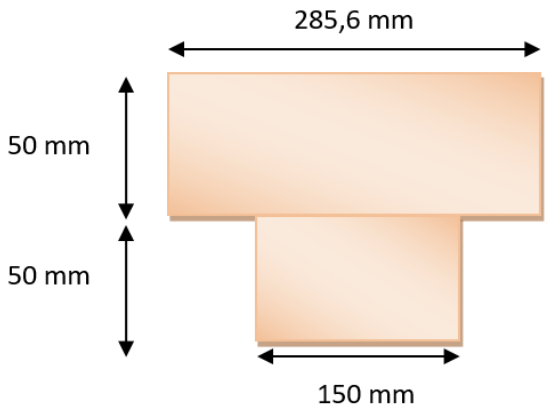
Depois obtemos o momento de inércia *I* da área total transformada e calculamos as tensões atuantes. E finalmente multiplicam-se as tensões calculadas para a área transformada pelas razões dos módulos de elasticidade *n* para as áreas com materiais diferentes do material de referência.

Exercício Teórico: A viga composta é feita de aço (A) e latão (B) e tem a seção transversal mostrada na figura. Se for submetida a um momento M = 5 kN.m, determine a tensão máxima no latão e no aço.



Primeiro transformamos a barra em uma seção equivalente inteira de latão.

$$n = \frac{Eaço}{Elat} = \frac{200\ GPa}{105\ GPa} = \mathbf{1,904}$$, assim: $b' = n\ x\ b = 1{,}904\ x\ 150\ mm = \mathbf{285{,}6\ mm}$



Cálculo do centróide:

$$\overline{y} = \frac{\Sigma \overline{y} A}{\Sigma A} = \frac{(150x50)x25 + (285{,}6x50)x75}{(150x50) + (285{,}6x50)} = \mathbf{57,782\ mm}$$

Cálculo do momento de inércia da seção transformada:

$$I = \Sigma(\overline{I} + Ad^2) = \Sigma\left(\frac{1}{12}bh^3 + Ad^2\right)$$

$$I = \left[\frac{1}{12}(0{,}150x0{,}05^3) + (0{,}150x0{,}05)x(0{,}032782^2)\right] +$$

$$+\left[\frac{1}{12}(0{,}02856x0{,}05^3) + (0{,}2856x0{,}05)x(0{,}017218^2)\right] = \mathbf{16,8308x10^{-6}\ m^4}$$

Cálculo das tensões máximas:

$$\boldsymbol{\sigma_{máx\ lat}} = \frac{My}{I} = \frac{5000x0{,}057782}{16{,}8308x10^{-6}} = \mathbf{17,165\ Mpa\ (trativa)}$$

$$\boldsymbol{\sigma_{máx\ aço}} = n\frac{My}{I} = 1{,}904\ x\ \frac{5000x(0{,}1 - 0{,}057782)}{16{,}8308x10^{-6}} = \mathbf{23,879\ Mpa\ (compressiva)}$$

3 I MODELO COMPUTACIONAL

3.1 Pré-processamento

Para o modelo proposto foram utilizados parâmetros geométricos coerentes com a seção proposta na fundamentação teórica, bem como com a compatibilidade entre os carregamentos do modelo computacional e teórico. Foi obtida assim uma viga de seção retangular (150x100mm) e comprimento 980mm, podendo ser observada na figura 10.

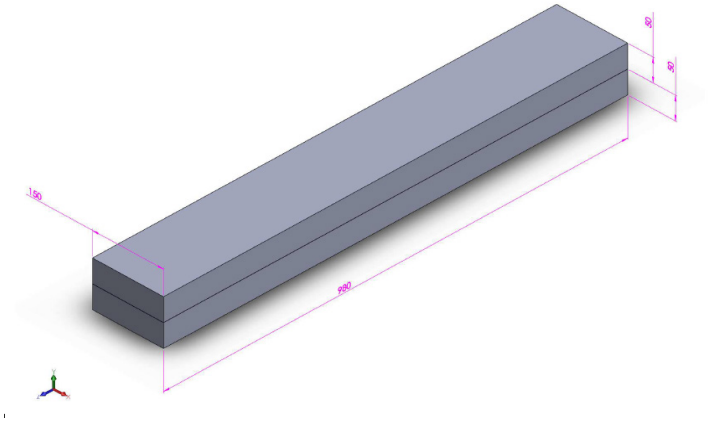


Figura 10. Modelo 3D de uma viaga de seção retangular de dois materiais.

Para os materias foram selecionados o Aço estrutural e o Latão predefinidos na biblioteca de materiais do Ansys, com as seguintes propiedades:

Materiais	**Módulo de elasticidade[GPa]**	**Densidade[kg/m³]**
Aço estrutural	200	7850
Latão	105	8300

Tabela 1

Primeiramente foi gerada uma malha de elementos quadriláteros sem qualquer com tamanho de elementos 50mm, contudo prosseguiu-se a simulação para caráter de comparação com os resultados teóricos e, também, confirmação da necessidade de refinamento. Verificou-se valores incoerrentes com aqueles esperrados pela teoria. Para corrigir o erro, diminuiu-se o tamanho dos elementos para 30mm, e para maior aproximação com o resultado teórico, foi reduzido ao tamanho final de 20mm. Através disso, foi possível obter novos resultados, com maior nível de confiabilidade. A malha final pode ser observada na figura 11.

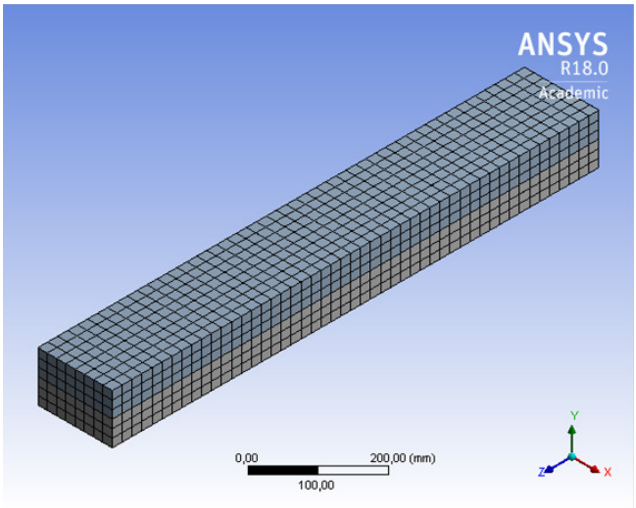


Figura 11. Malha refinada final, composta de 13028 nós e 2352 elementos.

As arestas frontal e traseira da viga foram fixadas (simulando apoios simples), e como na resolução analítica foi aplicado um carregamento tal que o momento fletor gerado fosse de 5 kN*m. Para o cálculo do carregamento, admitiu-se uma carga P distribuída na face superior da viga. A mesma gera um momento interno cuja magnitude é dada por $M = \frac{1}{8} P * L^2$, para o comprimento utilizado, e em conformidade com a fundamentação teórica, temos um carregamento de, aproximadamente, 41649N/m. O sistema está disposto na figura 12.

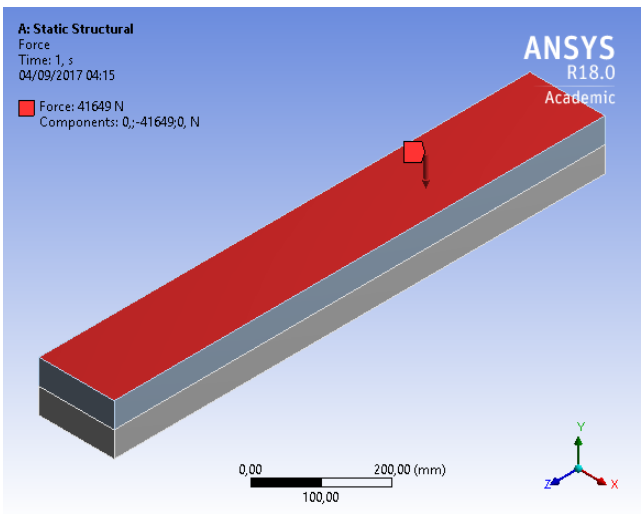


Figura 12. Esquema de aplicação da força e engaste

3.2 Solução e Pós-processamento

As soluções levaram em média 18 segundos para serem obtidas, apresentando os seguintes resultados em ordem de tamanho de elemento:

Tamanho de elemento	**Tensão Máxima(Latão)[MPa]**	**Tensão Máxima(Aço)[MPa]**
Default(50mm)	11,544	-20,849
30mm	15,486	-22,617
20mm	17,587	-24,481

Tabela 2

Para o resultado mais próximo do teórico obteve-se o seguinte mapa de tensões:

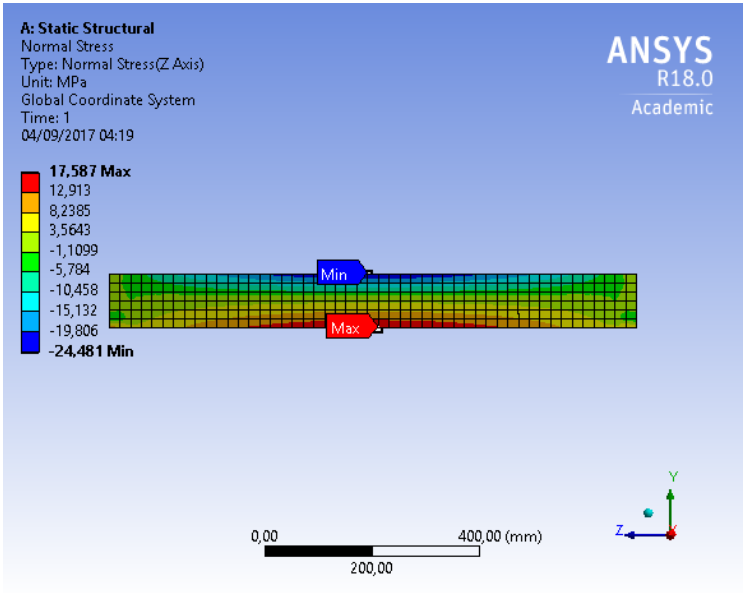


Figura 13. Mapa de tensões normais ao longo da barra na direção z

Para avaliação da deformação ocorrida na viga, é observado que a deflexão da mesma no apoio é 0 e máxima no centro, como prevê a teoria para essa configuração, e que pode ser verificada com o mapa deformação da figura 14.

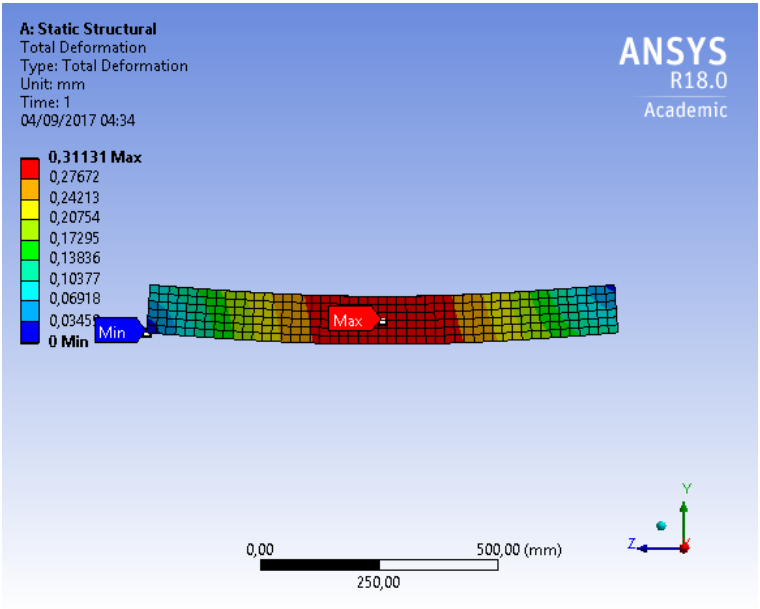


Figura 14. Mapa de deformação total

4 I DISCUSSÕES

4.1 Resultados analíticos e numéricos

Tensão máxima(Latão)[MPa]	Tensão máxima(Aço)[MPa]
17,165	23,879

Tabela 3. Resultados analíticos

Tamanho do elemento	Tensão máxima (Latão) [MPa]	Tensão máxima (Aço) [MPa]
50mm	11,544	-20,849
30mm	15,486	-22,617
20mm	17,587	-24,481

Tabela 4. Resultados numéricos

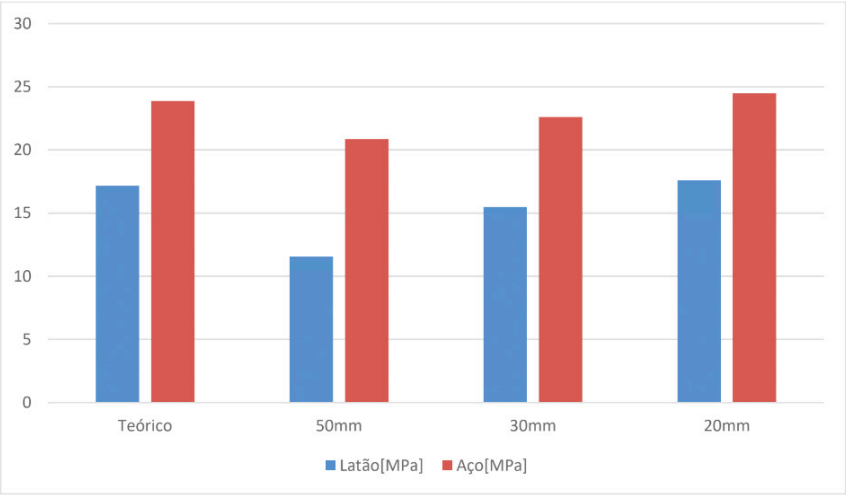


Gráfico 1. Representação das tensões analíticas e numéricas.

4.2 Diferenças percentuais

Para o latão as diferenças percentuais entre o modelo teórico e os resultados computacionais obtidos são:

Teórico	50mm	30mm	20mm
17,165	11,544	15,486	17,587
Difrença [%]	32,747	9,782	2,458

Tabela 5. Diferença percentual entre tensão teórica e numéricas do latão.

Para o aço as diferenças percentuais entre o modelo teórico e os resultados computacionais obtidos são:

Teórico	50mm	30mm	20mm
23,879	20,849	22,617	24,481
Diferença [%]	12,689	5,285	2,521

Tabela 6. Diferença percentual entre tensão teórica e numéricas do aço.

O motivo dessas diferenças reside no fato de que o método de elementos finitos, o qual os programas computacionais trabalham, ser uma aproximação do método teórico.

O termo “discretização” é usado justamente porque passamos de um contínuo, modelo teórico, (a função originalu(x) está definida num domínio que é uma reunião infinita de pontos), para um conjunto discreto, o qual o domínio passa a ser uma reunião finita de intervalos, modelo computacional. Em cada um desses intervalos (retas), aproximamos a função original por um segmento de reta. Notadamente, quanto menor o comprimento dos subintervalos, ou seja, quanto menor a norma da partição, mais a função discretizadaud se aproximará da original u(x), é observável isso na figura abaixo.

Estes subintervalos descritos acima são os segmentos de reta que tendem se aproximarem de u(x) são os tamanhos dos elementos descritos no tópico modelo computacional. A menor partição utilizada foi de 20mm, este que tem uma proximidade com a teoria em torno de 2,5%.

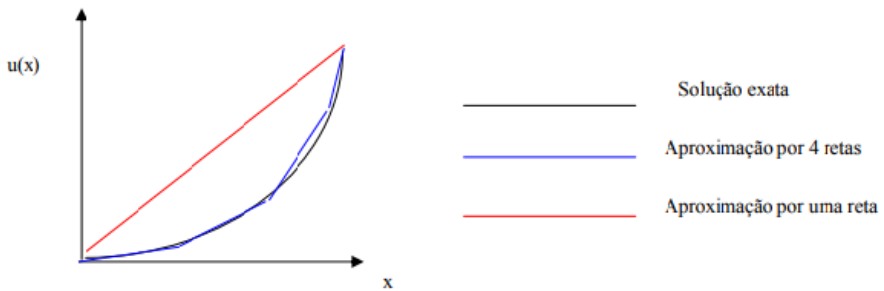


Figura 15. Aproximação por funções contínuas por partes

5 I CONCLUSÃO

No trabalho foi realizado o cálculo das tensões sofridas pelos diferentes materiaiscausada por um momento de 5 kN.m, aproximadamente, pelo método teórico e computacional, para percebermos as disparidades entre a teoria e o método de elementos finitos. E foi observável a propensão do valor teórico pelo método dos elementos finitos, no qual, quanto menor os pontos nodais menor é a diferença entre eles, ou seja, a geometria e o refino da malha é um fator determinante para a satisfatoriedade do resultado encontrado no ANSYS.

Os pontos nodais utilizados foram por ordem de refino 50mm, 30mm e 20mm, para o primeiro ponto a diferença foi grande, principalmente para o latão chegando a 32,747% que sofreu tração modificando de forma desmedida os pontos nodais corpulentos, causando esta defasagem entre os valores. No entanto, para a menor partição de 20mm a variação entre o método computacional e o príncipio analítico foi em torno de 2,5% para ambos materiais, sendo este um valor aceitável para o tempo de processamento, em torno de 18 segundos.

Na hipótese de diminuir de modo desmedido as partições, o tempo do procedimento iria aumentar demasiadamente, podendo diminuir a eficiência do trabalho, por uma maior precisão, não muito diferente da obtida, por um tempo excessivamente maior que até poderia danificar o computador.

Para trabalhos futuros, seria interessante estabelecer a comparação dos resultados obtidos com outras metodologias de análise, como por exemplo cálculos analíticos e/ou em alguma viga real com dimensões e propriedades parecidas. Estas comparações serveriam como autenticação dos valores encontrados pelo software, viabilizando o estabelecimento de diferenças percentuais aceitáveis até para problemas mais complexos.

REFERÊNCIAS

ANSYS, Inc. **Workbench - Mechanical Introduction: Chapter 4: Static Structural Analysis.** Ansys Inc, 2009.

BEER, Ferdinand P. et al. **Mecânica dos Materiais.** 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais.** 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

CAPÍTULO 9

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE COMPÓSITO DE MATRIZ DE GESSO REFORÇADO COM CAPIM

Data de aceite: 04/01/2021
Data da submissão: 06/12/2020

Diogo Antonio Correa Gomes
Universidade Federal Lavras (UFLA)
Lavras, Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/4577490199197790

Eduardo Hélio de Novais Miranda
DCF-UFLA
Lavras, Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/0310621032128957

Gustavo Monteiro Costa Sbampato Resende
Centro Universitário Lavras
Lavras, Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/5355579624480946

Henrique Andrade Alvarenga Barbosa
Centro Universitário Lavras
Lavras, Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/1083061299032073

Márcia Aparecida Imaculada de Oliveira
Centro Universitário Lavras
Lavras, Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/2354940604760707

Mariane Duarte Resende
DCF-UFLA
Lavras, Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/7587012019814427

Thaiane Oliveira Marcelino
DCF-UFLA
Lavras, Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/3830892271946736

RESUMO: Partículas lignocelulósicas se destacam pelo baixo custo, disponibilidade, e menor toxidade. Espécies vegetais apresentam potencial para o reforço de compósitos estruturais. Diante disso, o objetivo deste estudo é a caracterização física e mecânica de compósitos de matriz de gesso reforçados com capim. Para tal propósito foram coletados, secos e peneirados, capins advindos de plantio na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Esses compósitos foram confeccionados utilizando-se uma relação água / gesso de 0,6 e 5 % em massa de capim. Após o preparo e secagem, os painéis foram retirados do molde e cortados nas dimensões normatizadas para os ensaios físicos de densidade, umidade, inchamento e absorção de água e para os ensaios mecânicos de compressão e flexão estática de três pontos. Os resultados demonstraram a massa específica encontrada dos corpos de prova compósitos foi inferior à de literaturas comparativas, o que pode indicar uma boa classificação nos índices de mérito. Os valores de umidade, inchamento e a absorção de água obtidos também foram baixos, significando que houve diminuição da higroscopia, ou capacidade de absorver água do gesso, o que é desejado na maioria das aplicações de materiais multifásicos. Os dados obtidos dos ensaios mecânicos evidenciaram uma melhora nas propriedades de resistência do gesso a partir da adição de capim, um outro fator positivo. Portanto, os compósitos de matriz de gesso reforçados com capim representaram melhora tanto nas propriedades físicas quanto mecânicas, o que pode validar uma maior gama de aplicações para tais materiais.

PALAVRA-CHAVE: Fibras vegetais, Flexão estática, Sustentabilidade.

EVALUATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PLASTIC MATRIX REINFORCED WITH GRASS

ABSTRACT: Lignocellulosic particles stand out for their low cost, availability, and lower toxicity. Plant species have the potential to reinforce structural composites. Therefore, the objective of this study is the physical and mechanical characterization of plaster matrix composites reinforced with grass. For this purpose, grasses collected from planting at the Federal University of Lavras (UFLA) were collected, dried and sieved. These composites were made using a water / gypsum ratio of 0.6 and 5% by weight of grass. After preparation and drying, the panels were removed from the mold and cut to standard dimensions for the physical tests of density, moisture, swelling and water absorption and for the mechanical tests of compression and static flexion of three points. The results showed that the specific mass found in composite specimens was lower than that of comparative literature, which may indicate a good classification in the merit indexes. The values of humidity, swelling and water absorption obtained were also low, meaning that there was a decrease in hygroscopy, or the ability to absorb water from the plaster, which is desired in most applications of multiphase materials. The data obtained from the mechanical tests showed an improvement in the resistance properties of the plaster from the addition of grass, another positive factor. Therefore, plaster matrix composites reinforced with grass represented improvement in both physical and mechanical properties, which can validate a wider range of applications for such materials.
KEYWORDS: Vegetable fibers, Static flexion, Sustainability.

INTRODUÇÃO

Os sistemas construtivos evoluem a cada dia, principalmente, os que são ecologicamente corretos. As pesquisas científicas voltadas para a criação novos materiais de origem natural, para aplicação na construção civil, apresentam grande destaque do ponto de vista técnico, econômico e social. Tal fato é explicado pela insustentabilidade da construção civil, sendo esta responsável por gerar grande parte da produção de lixo no mundo.

Um dos elementos de tal indústria é o gesso, produto cujo uso vem crescendo continuamente em todos os tipos de edificações, principalmente no sistema de vedações internas *drywall* (TENORIO, 2018). Entretanto, diante da grande produção de resíduos advindos do processamento do gesso, tornam-se necessários estudos para diminuição de uso, no mínimo parcial, deste material.

A utilização de fibras vegetais como reforço em matrizes de gesso se apresenta, neste contexto, como uma solução sustentável, visto que são renováveis, ambientalmente corretas e podem melhorar as propriedades mecânicas, como a resistência à tração, à flexão e ao impacto desses materiais. Além do mais, possibilitam a alteração do seu comportamento desses compósitos após fissuração, diminuindo os efeitos de uma ruptura

brusca (SILVA *et al*, 2012).

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa é a caracterização física e mecânica de compósitos de matriz de gesso reforçados com capim para comparação desses resultados com a literatura e validação da gama de aplicação de tais compostos.

MATERIAL E MÉTODOS

As fibras de capim utilizadas neste trabalho foram coletadas na Universidade Federal de Lavras; enquanto que o gesso foi adquirido no comércio de Lavras-MG.

Para o tratamento do capim, inicialmente ocorreu a secagem (figura 01) e em seguida a cardagem manual para obtenção das fibras, permitindo a remoção das impurezas visíveis, decorrentes do processo de desfibramento. As fibras de capim passaram, ainda, por um processo de remoção das impurezas visíveis por meio da cardagem manual para proporcionar aderência à matriz quando da fabricação do compósito.

Figura 01- Secagem do Capim

A compactação dessas fibras foi realizada via úmida. Neste processo foi adicionado água à medida em que as fibras ficassem umedecidas. Cada prensagem permaneceu durante o tempo de 23 minutos para verificar o seu comportamento de compactação.

O gesso utilizado foi um pó branco, de elevada finura, equivalente ao cimento, elevada plasticidade da pasta, pega (aderência) e endurecimento rápido, pequeno poder de retração na secagem e estabilidade volumétrica que garantem desempenho satisfatório.

Para o preparo dos compósitos de gesso e capim, foi utilizada a razão água/gesso

de 0,6, e capim 5 %. O gesso foi polvilhado sobre a água por um minuto, a suspensão do pó na água fi mantida em repouso por dois minutos e a pasta foi misturada durante um minuto.

Na figura 2, mostra que após 2 dias de secagem, os painéis foram retirados do molde e em seguida cortados utilizando-se uma serra circular nas dimensões normatizada para os ensaios físicos e mecânicos.

Figura 02- Corpos de prova Cortados.

Para a avaliação da densidade aparente, mediu-se o comprimento, largura e espessura dos três corpos de prova. Assim foi obtido o volume dos corpos de prova. A densidade foi obtida pela razão entre massa, medida com uma balança de precisão, e o volume.

Já a absorção de água e o inchamento foram encontrados mergulhando-se parte do corpo de prova em água e registrando-se suas massas e espessuras após 2 e 24 horas de submersão.

Também foi aferida a propriedade física de umidade nesta caracterização, aferindo-se a massa dos materiais antes e após procedimento térmico de 24 horas em uma estufa.

Os testes mecânicos, entretanto, foram feitos em máquina universal de ensaios do Departamento de Ciências Florestais (DCF) da UFLA, com escala de 600 Kg como é apresentado na figura 03.

Figura 03- Maquina universal de ensaio sendo teste de compressão e flexão.

O ensaio de flexão estática de três pontos foi realizado conforme prescrições da norma ASTM D 790-17. Foram ensaiadas quatro amostras com dimensões de 20,72x76,53x23,72 cm, sendo o vão do ensaio de 10 cm. Os corpos de provas foram posicionados de forma a permitir que a carga fosse aplicada no centro dos mesmos.

Já o ensaio de compressão foi feito conforme as normas ASTM C297/ C297M-16. Foram ensaiadas duas amostras, sendo a carga aplicada em uma taxa de movimento constante até sofrer a ruptura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades Físicas

Os resultados das propriedades físicas aferidas neste projeto estão expostos na Tabela 1.

U (%)	AA 24h (%)	I (%)	ρ (g/cm³)
13,15 (± 0,50)	36,00 (± 1,50)	37,33 (± 2,00)	1,25 (± 0,08)

U - Umidade na base seca;

AA 24h - Absorção de água após 24 horas de submersão;

I - Inchamento em espessura;

ρ - Densidade aparente.

Tabela 1. Resultados médios das propriedades físicas encontradas nesta pesquisa seguidos de seus respectivos desvios padrões.

Com relação à massa específica, o valor encontrado nesta pesquisa foi inferior ao encontrado por Oliveira *et al.* (2012), que em sua caracterização de compósitos de gesso com resíduos de etileno acetato de vinila e vermiculita encontraram uma massa específica média desse material de 2,60 g/cm³.

Na maioria das aplicações de compósitos é requerido uma baixa massa específica associada à uma alta resistência, e o resultado mensurado pode indicar uma vantagem dentro desse contexto. Diferentes materiais são comumente classificados de acordo com essas propriedades nos índices de mérito.

Já os valores de umidade, inchamento e a absorção de água obtidos também foram baixos em relação aos encontrados na literatura; Gencel *et al.* (2016), por exemplo, em seu projeto de caracterização de um compósito a base de gesso, diatomita e polipropileno, encontraram, dentre as amostras ensaiadas, o menor valor de absorção de água de 39,2 % para um corpo de prova 100 % de gesso. Tal fato indica que os compósitos mensurados nesta pesquisa diminuíram a higroscopia, ou capacidade de absorver água, do gesso, o que é, majoritariamente, desejado.

Propriedades Mecânicas

Os resultados das propriedades mecânicas medidas nesta pesquisa se encontram na Tabela 2.

ENSAIO DE COMPRESSÃO		ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA
MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
1,48 (± 0,35)	131,26 (± 35,73)	2,31 (± 0,69)

MOE – Módulo de Elasticidade;

MOR – Módulo de Ruptura.

Tabela 2. Resultados médios das propriedades mecânicas encontradas neste estudo seguidos de seus respectivos desvios padrões.

Os dados de MOE e MOR mensurados nos ensaios de flexão e compressão foram altos, sendo os valores de MOR, por exemplo, superiores aos dados obtidos por Gencel *et al.* (2016) para o ensaio do corpo de prova contendo apenas gesso, nos quais encontraram 0,8 MPa para o MOR no teste de flexão estática de três pontos e 1,1 MPa para o MOR no ensaio de compressão; isso significa um ganho mecânico das amostras de gesso a partir do reforço de capim.

Entretanto, os corpos de prova do mesmo autor citado acima, com adição de diatomita e polipropileno obtiveram maiores resistência, indicando melhores propriedades mecânicas que os materiais utilizados nesta análise científica.

CONCLUSÃO

O objetivo desta pesquisa foi a caracterização física e mecânica de compósitos de matriz de gesso reforçados com capim para comparação desses resultados com a literatura e validação da gama de aplicação de tal composto.

Perante os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A massa específica encontrada dos corpos de prova compósitos reforçados com capim foi inferior à de literaturas comparativas, o que pode indicar uma boa classificação nos índices de mérito e um aumento de possíveis usos desses compostos;
- Os valores de umidade, inchamento e a absorção de água obtidos também foram baixos, o que significa que houve diminuição da higroscopia, ou capacidade de absorver água do gesso, o que é desejado na maioria das aplicações de materiais multifásicos;
- Os dados obtidos dos ensaios mecânicos evidenciaram uma melhora nas propriedades de resistência do gesso a partir da adição de capim, um outro fator positivo.

Portanto, os compósitos de matriz de gesso reforçados com capim representaram melhora tanto nas propriedades físicas quanto mecânicas, o que pode validar uma maior gama de aplicações para tais materiais.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 297/ C 297M-16. Standary Test Method for Flatwise Tensile of Sandwich Constructions. West Conshohocken, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 790-17. Standard test Method for Flexural Properties or Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. West Conshohocken, 2017.

.

GENCEL, O.; DIAZ, J. J. C.; SUTCU, M.; KOKSAL, F.; RABANAL, F. P. A.; BARRERA, G. M. A novel lightweight gypsum composite with diatomite and polypropylene fibers. Construction and Building Materials, v. 113, pp. 732-740, 2016.

OLIVEIRA, M. P.; BARBOSA, N. P.; TORRES, S. M.; LEAL, A. F.; SILVA, C. G. Gypsum-based composites with EVA waste and vermiculite. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, v. 16, n. 6, pp. 684-689, 2012.

SILVA, E et al. Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 8, n. 8, pp. 1555-1561, 2012.

TENORIO, J. S.; SANTOS, J. B. PRODUÇÃO DE PLACAS DE GESSO REFORÇADAS COM FIBRAS DE COCO. Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 5, n. 1, pp. 174-181, 2018.

CAPÍTULO 10

PROJETO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO MECÂNICA DE UM GUINCHO DE IÇAMENTO PARA LOCOMOÇÃO DE CARGAS

Data de aceite: 04/01/2021
Data de submissão: 06/10/2020

Antonio Rodrigues Freitas de Carvalho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco
Caruaru – PE
http://lattes.cnpq.br/6346830941733825

Diógenes Linard Aquino Freitas
Universidade Federal da Paraíba
Caruaru – PE
http://lattes.cnpq.br/7417068118384455

Eduardo Ataíde de Oliveira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco
Caruaru – PE
http://lattes.cnpq.br/9431676326240421

Jardielson José da Costa Almeida
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco
Caruaru – PE
http://lattes.cnpq.br/2904097848738906

Lucas Filipe de Vasconcelos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco
Caruaru – PE
http://lattes.cnpq.br/6454991819023153

RESUMO: O transporte de cargas é uma atividade frequente e que exige certo esforço no meio da produção, seja para se ter a otimização do layout vigente ou para o alojamento de novos maquinários no espaço de trabalho. Para isso é requerido aparatos mecânicos que venham a facilitar a locomoção desses equipamentos de médio e grande porte, ou seja, sistemas mecânicos capazes de mover equipamentos robustos. Nesse sentido, essa produção tem por finalidade desenvolver um sistema de transmissão para um guincho, semelhante ao de uma ponte rolante, que será instalado no laboratório de práticas mecânicas do IFPE Campus Caruaru. O projeto aborda desde a seleção do motor de indução que opera de modo satisfatório para os níveis de projeto, passando por etapas de redução por meio de elementos de máquinas flexíveis – correia e corrente – e pela caixa de engrenagens redutoras. Além disso, foi realizado o dimensionamento do tipo de cabo de aço e a seleção do material da alma do mesmo, esse processo foi realizado seguindo a NBR 4309, suas recomendações e cálculos necessários. Todas as etapas da metodologia são projetadas a fim de que as especificações do projeto sejam respeitadas e válidas a níveis de segurança como carga média para içamento dos maquinários, tempo de elevação e dimensões. O dimensionamento desses equipamentos também engloba: seleção de material dos componentes, tais como nos eixos e nas engrenagens e a análise de tempo de vida/ciclos de elementos de máquinas com nível de trabalho nominal. Engrenagens, de uma forma particular, serão projetadas baseadas na metodologia da American Gear Manufacturers Association (AGMA) que leva em consideração prioritária a resistência à flexão e ao desgaste.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de Transmissão,

Projeto, Guincho.

DESIGN OF MECHANICAL TRASMISSION SYSTEM OF A LIFTING WINCH FOR TRANSPORTATION OF EQUIPMENTS

ABSTRACT: Transportation of loads it's a very commom activity and demands a certain effort in the environment of production, may it be for the layout optimization or only for the lodge of a new machine in the workspace. For this task, is required tools that make it easy the transportation of those equipment's of medium and high size, this means, mechanical systems there are capable of move toughness equipment's. In this sense, this production aims the development of a transmission system for a winch, like those of an overhead crane, that will be installed in Mechanical Practices Lab at the IFPE Caruaru. The project starts since the selection of the induction motor, whom work according to the levels of project fixed, passing through the reduction phases by means of flexible mechanical elements – belts and roller chains – and through the reduction gears. Besides that, it's was made the design of the wire rope, the selection of his material, following the NBR 4309 recommendations and calculations. Every phase of the methodology was design aiming that the specifications of project be respected and valid on the level of safety, like average load for rising of equipment, time of rising and dimensions. The design of these mechanical elements also includes the selection of material of shafts and gears, and the analysis of the lifetime and cycles by operating at normal conditions of power. Gears, in a way, was design according to the methodology of American Gear Manufactures Association (AGMA) and considers primarily the bending fatigue failure and pitting failure.
KEYWORDS: Transmission System, Design, Winch.

1 I INTRODUÇÃO

Os sistemas de transmissão de potência – mais conhecidos por redutores ou ampliadores de velocidade – são amplamente utilizados em equipamentos mecânicos devido à necessidade de adequação de torque e velocidade fornecidos por um motor, em relação ao demandado para a realização de trabalho (BIANCHI, 2009). Sistemas de transmissão mecânica têm um grande campo de aplicação no âmbito da mobilidade: como setor automotivo, naval e de mecanismos industriais.

Conjuntos de transmissão são extremamente vantajosos porque são capazes de prover à carga um torque tantas vezes maior que as do motor quanto for a relação de redução (SANTOS JÚNIOR, 2002).

Nesse sentido, o correto dimensionamento dos elementos de máquinas para solicitação mecânica de um sistema como esse não somente permite um aumento do tempo de vida dos componentes, como também assegura ao projetista níveis de segurança para o equipamento. De acordo com Niemann (2002), as transmissões por corrente são utilizadas para relações de multiplicação de até seis em eixos paralelos com um rendimento da ordem de 98%.

As correias, segundo Melconian (2006), possuem por característica principal

a grande capacidade de multiplicação, de absorver impactos e sua perda associada, geralmente atrelada ao escorregamento e deslizamento, que representa apenas 5% de potência.

Os sistemas de transmissão mecânicos encontram nas engrenagens seu principal elemento de máquina. Pelo fato de permitirem ajustar as características da fonte de rotação de acordo com a necessidade do sistema acionado, aumentando o momento, diminuindo a velocidade de rotação e vice-versa, com o mínimo de perdas de potência (FARIA, 2009). A transmissão por engrenagens apresenta um elevado rendimento em comparação com outros sistemas de transmissão mecânica.

2 | APRESENTAÇÃO DO SISTEMA

O sistema de transmissão desse estudo é composto por um tambor de cabo de aço, a caixa de engrenagens redutoras, corrente e correia. Todas as etapas do sistema de transmissão estão anotadas com sub-índices numéricos, sendo assim as grandezas tais como velocidade e forças associadas a esses estágios estão expressas da forma: 1 – motor elétrico, 2 – polia do eixo AB, 3 – entrada do redutor, 4 – saída do redutor.

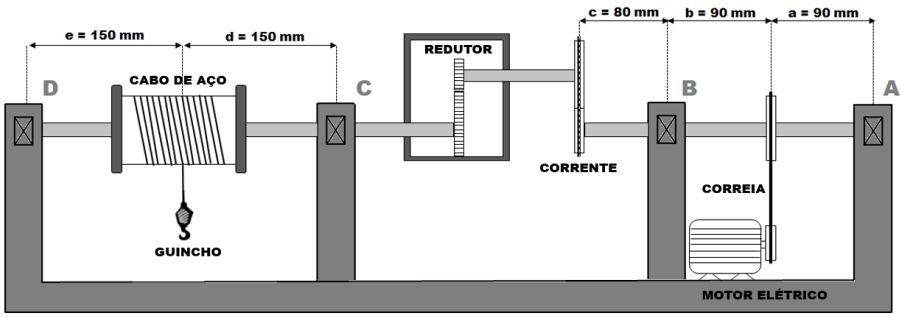


Figura 1 – Componentes mecânicos do sistema de transmissão

Fonte: Própria (2019)

As especificações de projeto para esse sistema foram definidas com base nas dimensões do laboratório de práticas mecânicas do IFPE *campus* Caruaru. Segue, portanto as cotas e especificações de projeto: elevar cargas de até 713 kg (7 kN) com uma velocidade de 0,3 m/s até uma altura de 6 metros do solo. Motor elétrico de 4 polos (1800 rpm). As cotas *a, b, c, d* e *e* são distâncias tomadas dos apoios dos mancais na base de apoio do sistema de transmissão e são, respectivamente: 90 mm, 90 mm, 80 mm, 150 mm e 150 mm.

3 | PROJETO DOS COMPONENTES

Partindo-se da velocidade angular do eixo do tambor, tem-se ideia da redução global que o sistema necessita, é feita uma ponderação do quanto será o fator de redução em cada um dos três elementos (correia, corrente e engrenagens). O organograma ilustra o processo de desenvolvimento do projeto.

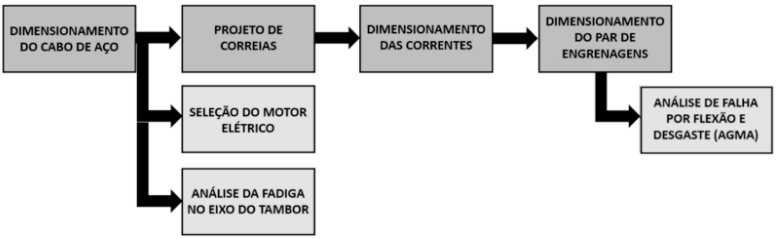


Figura 2 – Organograma do projeto do sistema de transmissão

Fonte: Própria (2019)

3.1 Dimensionamento do cabo de aço e tambor

O estudo do componente cabo de aço consiste em encontrar as cargas de trabalho a partir de um fator de segurança recomendado, segundo a *NBR 4309*, esse coeficiente em pontes rolantes varia de 6 a 8. O coeficiente de segurança é a razão da Carga de Ruptura Mínima CMR e a Carga de Trabalho CT, como explicita a equação (1):

$$n = \frac{CMR}{CT} \tag{1}$$

A carga de trabalho leva em consideração forças de atrito e inércia, ***W*** é a carga a ser elevada em N, ***m*** o número de cabos de aço para a operação (***m*** = **1**), ***ω*** é o peso por metro do cabo de aço e ***l*** é o comprimento suspenso do cabo (altura de elevação) que será de 6 metros. Da tabela 17-24 do Shigley (2008), tem-se que para içamento padrão, o cabo utilizado é o **6*x*19** que apresenta um ***ω*** = **36, 18** x **10**$^{-3}$ ***N / m,a*** é referente a aceleração que será de 0,015 m/s² e ***g*** = **9,81** ***m/s²***..

Pelo fato do diâmetro do cabo ser um fator limitante, visto que não foi selecionado previamente, toma-se, portanto, uma média entre os valores do intervalo dado dos tamanhos padronizados da tabela 17-24 (Shigley, 2008). Obtendo ***d*** = **38*mm***. Aplicando esses valores na equação (2), tem-se:

$$CT = \left(\frac{W}{m} + \omega l\right)\left(1 + \frac{a}{g}\right) \quad (2)$$

$$CT \approx 7325\ N$$

Tomando o coeficiente de segurança máximo, 8, se tem: ***CMR* = 58,6 *kN***

O manual técnico de Cabos de Aço (CIMAF, 2012) fornece os valores de CMR em tf, sendo assim ***CMR* = 5,977 *tf*** de um **6*x*19** alma de aço, o diâmetro da bitola do cabo (***d* = 9,5 *mm***). Com isso, sabe-se que o diâmetro (D_{tambor}) para o tambor se situa numa faixa de 30 a 45 vezes o diâmetro do cabo, pondo uma margem de segurança, o diâmetro do tambor escolhido será da ordem de 37 vezes o diâmetro do cabo. D_{tambor} **=351,5 *mm*.**

Tendo em mãos o diâmetro do tambor e a velocidade de elevação da carga, determina-se a rotação do eixo pela expressão (3):

$$V = \omega \times r$$

Resultando assim, ω_4**=16,3 *rad/s***. A potência desenvolvida no eixo é tida pela expressão (4):

$$H_4 = (r_{tambor} \times CT) \times \omega_4 \quad (4)$$

Resultando em **2,975 *cv***, porém, ao considerar perdas nos estágios de transmissão, da correia, corrente e engrenagens de 5, 3 e 0%, respectivamente. Tem-se que a potência do motor deverá ser de:

$$H_{motor} = \frac{H_4}{(1 \times 0,97 \times 0,95)} = \frac{2,9755}{0,9215} \cong 3,5\ cv$$

Por questões de disponibilidade comercial e superdimensionamento de segurança para a aplicação, será selecionado um motor de potência 4,0 cv. Com rotação nominal de 1800 rpm, 220/380 V e 4 pólos.

3.2 Dimensionamento do eixo do tambor pelo critério de falha

Para realizar a análise de fadiga, é necessário determinar o torque médio (T_m) e o momento alternado (M_a). As equações de equilíbrio por meio do diagrama de corpo livre (figura 3) fornecem que as reações nos mancais C e D: com as reações de ambos os pontos em z sendo nulas, C_y **= - 3459,645 *N*** e D_y **= 3519,645 *N***.

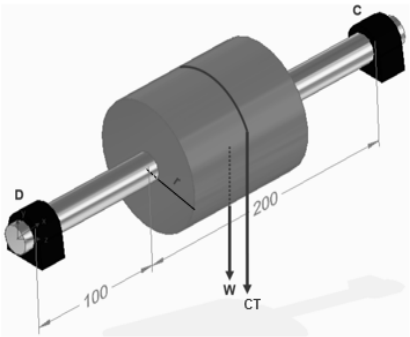


Figura 3 – Diagrama do corpo livre do eixo CD

Fonte: Própria (2019)

O diagrama de Momento Fletor nos fornece o maior momento aplicado no eixo e resulta em M_a = 527,94 *N.m e* T_m é obtido pelo produto $r \times CT$, T_m=1230,25 *N.m*. Para um eixo rotacionando com flexão e torção constantes a tensão de flexão é completamente reversa e a torção estável, logo $M_m = T_a = 0$. Pelo critério de falha de DE-Goodman, tomando um fator de segurança $n = 2$. Se terá por (5):

$$d = \left(\frac{16n}{\pi}\left\{\frac{1}{Se}\left[4\left(K_f M_a\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}}\left[3\left(K_{fs} T_m\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}\right\}\right)^{\frac{1}{3}} \qquad (5)$$

$$d_{CD} = 53{,}85\ mm$$

Alguns fatores e grandezas estão apresentadas na tabela 1:

Limite de resistência (S_{ut}) p/ SAE 1035-HR:	500 MPa	Limite de Endurança (S_e):	149,625 MPa
Fator de superfície (k_a):	0,665	Fator concentrador de tensão flexional (K_f):	1,49
Fator de tamanho (k_b):	0,9	Fator concentrador de tensão torcional (K_{fs}):	1,13

Tabela 1 – Fatores e tensões para análise de fadiga do eixo CD

Fonte: Própria (2019)

3.3 Etapas de redução do sistema

É tomado como fator limitante de projeto que as taxas de redução devam ser menores que 10, para não super-requerer aspectos mecânicos dos equipamentos. A figura 4 mostra

esquematicamente a redução por estágios relacionado a cada elemento de máquina:

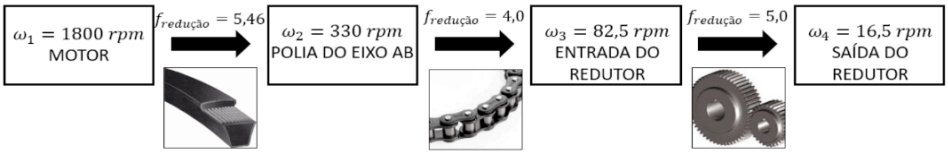


Figura 4 – Redução por estágios no sistema

Fonte: Própria (2019)

3.4 Dimensionamento e análise de vida das correias

Na correia, há uma perda de 5% na transmissão da potência nominal do motor, assim, a potência desenvolvida na saída do motor 4,0 cv (aproximadamente 3 kW): H'_{nom} = 0,95 × H'_{nom} = 2,85 *kW*.

A tabela 17-12 do Shigley (2008) relaciona as potências para diferentes velocidades e diferentes diâmetros mínimos, com base nessa, o diâmetro da polia motora: d_{p_1} = 155*mm*. Com a redução estabelecida de 5,46, tem-se: d_{p_2} = 5,46 × 155 = 846,30 *mm*.

A velocidade periférica é tida a partir do diâmetro da polia motora, pela expressão (6), onde n é a rotação de saída do motor em rps:

$$V_{per} = \pi d_{p_1} n \tag{6}$$

A velocidade periférica de 14,6 m/s situa-se numa faixa de operação boa. Interpolando valores de velocidade periférica dado o diâmetro primitivo da roldana e o tipo de correia (tipo B) na tabela 17-12 do Shigley (2008), tem-se que a potência tabelada (H_{tab}) é de 2,89 kW.

Da tabela 17-10, define-se o comprimento da circunferência interna e da tabela 17-11 do Shigley (2008), o comprimento a ser adicionado. São, respectivamente: L_c = 4500 *mm* e L_{ad} = 45 *mm*.

Da equação (7), define-se a distância entre centros C:

$$C = 0{,}25\left\{\left[L_p - \frac{\pi}{2}(d_{p_2} + d_{p_1})\right] + \sqrt{\left[L_p - \frac{\pi}{2}(d_{p_2} + d_{p_1})\right]^2 - 2(d_{p_2} - d_{p_1})^2}\right\} \tag{7}$$

Resultando *C* = 1445 *mm*. Esse dimensionamento respeita a desigualdade d_{p_2} < C < 3(d_{p_2} + d_{p_1}), portanto será mantida no projeto.

3.5 Dimensionamento das correntes

Levando em consideração a capacidade de carga da corrente fazendo e considerando a perda de 3% de potência na seção, tem-se que a potência é então de 3,88 *cv* Uma

correção é feita a partir do fator de serviço (k_s). Para condições moderadas de operação e motor elétrico, tem-se que o fator de serviço é 1,3, sendo assim, por (8):

$$H_{proj} = k_s H$$

A potência de projeto é de 5,04 *cv* A tabela 17-20 do Shigley (2008) nos fornece a capacidade em cavalo-vapor para várias velocidades da roda dentada. Foi necessário fazer uma interpolação para uma velocidade de 330 rev/min (velocidade da polia do eixo AB).

	Número de corrente ANSI (p/ roda dentada de 17 dentes)													
rev/min	25	35	40	41	50	60	80	100	120	140	160	180	200	240
300	0,23	0,78	1,85	1,02	3,61	6,2	14,5	27,7	46,8	72,4	105	145	198	310
330	0,251	0,849	2,015	1,11	3,928	6,749	15,76	30,16	50,94	78,82	114,3	157,9	209,8	324,7
400	0,3	1,01	2,4	1,32	4,67	8,03	18,7	35,9	60,6	93,8	136	188	249	359

Tabela 2 - Capacidade em cavalos para corrente de filetes de fila única

Fonte: Shigley (2008). Adaptado pelos autores

Onde cada cor indica o tipo de lubrificação: tipo A (azul) – por gotejamento ou manual; B (verde) – por disco ou por banho; tipo C (amarelo) – por corrente de óleo; tipo C' (vermelho) – por corrente de óleo com esfolamento. O fator de correção do número de dentes (k) para uma corrente de filetes únicos dentada de 14 dentes é 0,78. Por (9):

$$H_{corr} = kH_{proj} \tag{9}$$

A potência corrigida é de 3,93 *cv*. Segue abaixo os resultados na tabela 3:

	25	35	40	41	50	60	80	100	120	140	160	180	200	240
Simples	0,19578	0,66222	1,5717	0,8658	3,06384	5,26422	12,2928	23,5248	39,7332	61,4796	89,154	123,162	163,644	253,266
Dupla	0,332826	1,125774	2,67189	1,47186	5,208528	8,949174	20,89776	39,99216	67,54644	104,5153	151,5618	209,3754	278,1948	430,5522
Tripla	0,48945	1,65555	3,92925	2,1645	7,6596	13,16055	30,732	58,812	99,333	153,699	222,885	307,905	409,11	633,165
Quadru	0,646074	2,185326	5,18661	2,85714	10,11067	17,37193	40,56624	77,63184	131,1196	202,8827	294,2082	406,4346	540,0252	835,7778

Tabela 3 - Relação dos tipos de correia para diferentes configurações

Fonte: Própria (2019)

Como a capacidade da corrente de nº 60, na configuração simples, foi a mais próxima e ligeiramente maior do que a $H_{projetado}$, ela será a aplicada no sistema.

Ainda pode-se determinar alguns parâmetros da corrente para calcularmos limites de potência e fazer sua verificação. O limite de potência baseada na fadiga da placa de ligação é dado pela equação (10):

$$H_{lim,pl} = 0{,}004 \times {N_1}^{1{,}08} \times {n_1}^{0{,}9} \times p^{(3-0{,}07p)} \quad (10)$$

Onde: N_1 é o número de dentes da roda dentada menor (14), n_1 é a velocidade angular (330 rev/min), e p é o passo (0,75 in). Assim, $H_{lim,pl}$ = 5,5 *cv*. Fazendo o uso da equação (11), para o limite de potência baseado no rolete e na bucha e da equação (12), para o limite de potência baseado no desgaste excessivo.

$$H_{lim,RB} = \frac{1000 \times Kr \times {N_1}^{1,5} \times p^{0,8}}{{n_1}^{1,5}} \quad (11)$$

$$H_{lim,DC} = \left(\frac{N_1 \times n_1 \times p}{110{,}84}\right) \times (4{,}413 - 2{,}073 \times p - 0{,}0274 \times N_2) - \left(\frac{ln\, n_2}{1000}\right) \times (1{,}59 \times log\, p + 1{,}873) \quad (12)$$

118 *cv e* 41,4 *cv*, respectivamente. Como a potência projetada não ultrapassa esses níveis, essa corrente será utilizada no sistema. Com isso, os aspectos geométricos e dimensionais da corrente seguem apresentados na tabela 5.

Diâmetro do pinhão (D_P):	3,37 in
Diâmetro da coroa (D_c):	13,37 in
Número de passos (L):	96 passos

Tabela 5 - Especificações da corrente

Fonte: Própria (2019)

3.6 Dimensionamento das engrenagens redutoras

Para o dimensionamento do par de engrenagens, tem-se que o fator de redução a título de projeto é 5, logo, por (13). Os sub-índices 3 e 4 são relativos ao pinhão e coroa, respectivamente.

$$\boldsymbol{r_4 = 5 \times r_3} \quad (13)$$

Iniciando com uma análise de interferência para engrenagens cilíndricas de dentes retos, tem-se que o número mínimo de dentes no pinhão é dado por (14):

$$\boldsymbol{N_3 = \frac{2k}{(1 + 2m_G)\, sin^2 \emptyset}\left(m_G + \sqrt{m_G^2 + (1 + 2m_G)\, sin^2 \emptyset}\right)} \quad (14)$$

Para uma razão de engrenamento igual a 5 e tomando o ângulo de pressão como 20° e que k =1, o menor número de dentes do pinhão para que não ocorra interferência é 16. Para a coroa, o maior número de dentes da engrenagem dada pela equação (15):

$$N_4 = \frac{N_3^2 \, sin^2 \emptyset - 4}{4 - 2N_3 \, sin^2 \emptyset} \tag{15}$$

A expressão nos dá como resultado 100 dentes, logo, dado o intervalo obtido, foi projetado um pinhão com 18 dentes, e uma coroa com 90. Tomando como fator de projeto um módulo (m) de 6mm, tem-se, através dos devidos cálculos:

	PINHÃO	COROA
Diâmetro primitivo (mm)	108	540
Número de dentes	18	90
Adendo (in)	0,2364 / 6,0 mm	
Dedendo (in)	0,2955 / 7,5 mm	
Profundidade total (mm)	13,5	
Diâmetro externo (mm)	120	552
Diâmetro interno (mm)	96	528
Módulo (mm)	6	
Distância entre eixos (mm)	324	

Tabela 6 – Dimensões do par engrenado

Fonte: Própria (2019)

3.7 Análise de falha de flexão e desgaste das engrenagens

Uma vez projetado os aspectos dimensionais, a análise das forças é imprescindível para o projeto contra falha de desgaste e flexão. Calculando a carga transmitida no pinhão por (16):

$$W_t = F_{34}^t = \frac{60000H_3}{\pi d_3 n_3} \tag{16}$$

Sendo H a potência que chega no redutor, passando pelos estágios de redução de correia e corrente, tem-se que: $\boldsymbol{H_3 = H_{motor} \times Perdas = 4 \times 0{,}97 \times 0{,}92 = 3{,}57\ cv = 2625{,}731\ W}$

Com d_3 = 108 *mm* e a celeridade $n_3 = \omega_3$ =82,5 *rev/min*. Portanto: a carga transmitida é de 5,628 *kN* Sabendo que o ângulo de contato φ é 20°, pode-se determinar a componente radial e o módulo da força. A figura 5 abaixo mostra um diagrama de corpo livre das forças aplicadas no par de engrenamento.

$$F_{34}^r = 2{,}048\ kN; \;\; F_{34} = 5{,}989\ kN$$

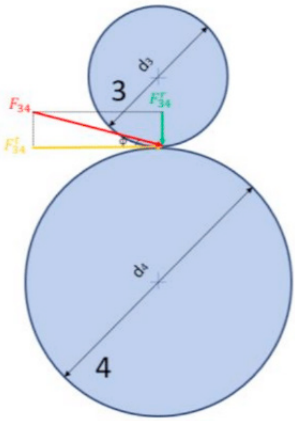


Figura 5 – Diagrama de corpo livre das forças aplicadas na engrenagem

Fonte: Própria (2019)

Realizando a análise da velocidade na linha primitiva, e sabendo que *d* é dado em polegadas e *n* em rpm, temos por (17):

$$V = \frac{\pi d_3 n_3}{12} \tag{17}$$

A análise de falha de desgaste e flexão da metodologia da AGMA é feita em unidades inglesas, portanto, a carga transmitida será W^t=1265,25 *lbf* As equações de tensão da AGMA, considerando todos os fatores, são duas a flexional (18):

$$\sigma_f = W^t K_o K_v K_s \frac{P_d}{F} \frac{K_m K_B}{J} \tag{18}$$

E a de resistência ao crateramento (19):

$$\sigma_c = C_p \sqrt{W^t K_o K_v K_s \frac{K_m}{d_p F} \frac{C_f}{I}} \tag{19}$$

As equações do coeficiente de segurança AGMA S_F para flexão e desgaste S_H são expostas a seguir por (20) e (21), respectivamente:

$$S_F = \frac{S_t}{\sigma_{f,adm}} \frac{Y_N}{K_T K_R} \tag{20}$$

$$S_H = \frac{S_c}{\sigma_{c,adm}} \frac{Z_N C_H}{K_T K_R} \tag{21}$$

O pinhão é de aço grau 1 com dureza de superfície e do dente de 240 HB (módulo de elasticidade 30 Mpsi), a coroa é de aço grau 1 e possui dureza de superfície e do dente

de 200 HB (módulo de elasticidade 2300 Mpsi). O pinhão irá rotacionar por 10^8 ciclos e a coroa por 2×10^7 ciclos. Largura da face do par engrenado 2,97in, possuem dentes não coroados e por consideração de projeto os mancais estão imediatamente adjacentes ao redutor e as engrenagens do redutor estão confinadas.

O redutor também é comercialmente disponível, por fim, toma-se uma confiabilidade de 99%. Aplicando as devidas relações, tem-se todos os resultados tabelados abaixo (7):

Fatores e coeficientes de projeto					
Ko	1,00	St,3	31,352 kpsi	Cf	1,00
Kv	1,130	St,4	28,26 kpsi	dp3	4,252 in
KS,3	1,135	Sc,3	106,28 kpsi	I	0,134
KS,4	1,144	Sc,4	93,5 ksi	KT	1,00
Pd	4,23 dentes/in	CH,3	1,00	KR	1,00
F	2,97 in	CH,4	1,01	ZN,3	0,948
Km	1,129	J3	0,320	ZN,4	0,984
KB,3	1,00	J4	0,420	YN,3	0,977
KB,4	1,00	Cp	2300 √psi	YN,4	1,005

Tabela 7 - Fatores e coeficientes do projeto

Fonte: Própria (2019)

Calculando a falha por flexão no pinhão e na coroa por (18):

$$\left(\sigma_{f,adm}\right)_3 = 8157{,}82\ psi;\ \left(\sigma_{f,adm}\right)_4 = 6267\ psi$$

E consequentemente o coeficiente de segurança por (20):

$$(S_F)_3 = 3{,}75;\ (S_F)_4 = 4{,}53$$

Calculando a falha por desgaste no pinhão e na coroa por (19):

$$\left(\sigma_{c,adm}\right)_3 = 75724\ psi;\ \left(\sigma_{c,adm}\right)_4 = 76037\ psi$$

E, da mesma forma, obtendo os coeficientes de segurança por (21):

$$(S_H)_3 = 1{,}33;\ (S_H)_4 = 1{,}178$$

4 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizar esse trabalho permite não somente aplicar os conceitos de seleção de materiais e dimensionamentos de elementos de máquinas como também integrar nossa

visão no que diz respeito ao funcionamento de conjuntos mecânicos. Tomar a liberdade de projetar, fazer considerações a respeito de aspectos construtivos e aplicar metodologias de grande importância no âmbito de projetos mecânicos.

É um trabalho multidisciplinar no âmbito da engenharia mecânica e nos permite deixar uma contribuição para o nosso campus, não só na pesquisa e produção acadêmica, como também para o laboratório de práticas mecânicas que possui um norte para a futura instalação do sistema de içamento.

REFERÊNCIAS

BIANCHI, Kleber Eduardo. **Desenvolvimento de um sistema de transmissão mecânica baseado em engrenagens cônicas e faciais**. Disponível em: < https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17877 > Acesso em 28 de julho de 2019;

COLLINS, J. A., **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas – Uma Perspectiva de Prevenção de Falha**, LTC, Rio de Janeiro, 2006;

FARIA, Iolanda Balcky. **Seleção de um redutor de engrenagens para um agitador e planejamento das ações de manutenção**. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/2511/1/Faria_2009.pdf > Acesso em 29 de julho de 2019;

Manual técnico de cabos de Aço, Cimaf, agosto de 2012;

MELCONIAN, Sarkis. **Mecânica Técnica e Resistência dos Materiais**. 17ª ed., Erica, 2006.

NIEMANN, G. **Elementos de Máquinas**. 6. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002, vol. 2;

NORTON, R., **Projeto de máquinas**, Bookman, Porto Alegre, 2004;

NBR 4309**, Equipamentos de movimentação de carga – Cabos de Aço** – Cuidados, manutenção, instalação, inspeção e descarte;

SANTOS JUNIOR, A. A. dos. **Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos**. Campinas, 2002. Disponível em: < http://www.fem.unicamp.br/~lafer/em618/pdf/Apostila%20Engrenagens%2 >. Acesso em: 29 julho. 2019;

SHIGLEY, J. E., **Elementos de Máquinas**, Vol. 8, 8ed., LTC, Rio de Janeiro, 2008.

CAPÍTULO 11

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE REFRIGERADOR PORTÁTIL BASEADO NO EFEITO PELTIER

Data de aceite: 04/01/2021
Data de submissão: 01/10/2020

Bruno Almeida Miranda Silva
Centro Universitário Una
Uberlândia – MG
http://lattes.cnpq.br/4082711723914506

Vitor Alves Pimenta
Centro Universitário Una
Uberlândia – MG
http://lattes.cnpq.br/2153043901049810

Maksym Ziberov
Universidade de Brasília
Brasília – DF
http://lattes.cnpq.br/3745791869688184

RESUMO: Com constantes mudanças em nossos hábitos, surgem também novas necessidades. A partir daí surgiu a ideia de se criar uma solução para resfriar e manter bebidas frias através de um equipamento portátil e eficiente. Propondo-se a desenvolver, criar e validar um protótipo que atenda essa ideia este artigo busca apresentar informações e dados sobre o dimensionamento do equipamento, seleção de componentes, fabricação, validação e a apresentação dos resultados obtidos com o protótipo.

PALAVRAS-CHAVE: Refrigerador Portátil, Peltier, Transferência de Calor, Prototipagem 3D.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PORTABLE REFRIGERATOR BASED ON THE PELTIER EFFECT

ABSTRACT: With constant changes in our habits, new needs also appear. From there came the idea of creating a solution to cool and keep cold drinks using a portable and efficient equipment. To develop, create and validate a prototype that meets this idea, this article aims to present information and data on equipment sizing, component selection, fabrication, validation, and the results obtained with the prototype.

ABSTRACT: Portable Cooler, Peltier, Heat Transfer, 3D Prototyping.

1 I INTRODUÇÃO

Atualmente existem no mercado vários tipos e modelos de refrigeradores, com grandes variações quanto às dimensões e potências, visando atender a todos os tipos de consumidores e suas necessidades em uso doméstico, comercial e industrial. Podendo respectivamente manter alimentos e bebidas resfriados e aumentar a conservação ideal de alguns alimentos. A capacidade de temperatura dos refrigeradores varia na faixa de -8°C a -18°C para o compartimento de congeladores e 2°C a 18°C no compartimento de resfriados (SILVA, 2019). Naturalmente, bebidas esquentam quando expostas à temperatura ambiente, sendo que as formas tradicionais de resfriamento de bebidas incluem uso de gelo ou

refrigeradores; métodos esses, que levam tempo para um consumo com paladar agradável e exigem grandes compressores mecânicos, caixas térmicas e um grande espaço físico. Devido às mudanças sociais surgiu a necessidade de desenvolver um equipamento de fácil acesso, portátil, compacto, com capacidade de refrigerar e conservar os líquidos em poucos minutos, ocupando um pequeno espaço físico, sem a utilização de gelo e sem necessidade de um compressor, o que diminui muito a emissão de ruídos.

Para isso, é necessário o controle da climatização através de módulos de resfriamento termoelétrico, utilizando dispositivos eletrônicos como princípio de refrigeração (COSTA, 1982), obtendo vantagem sobre os métodos convencionais de refrigeração, pois são simples e não tem partes móveis a nível macroscópico. Além disso, são compactos, confiáveis, silenciosos e também não utilizam gás refrigerante que prejudicam a camada de ozônio (MORAN et al., 2013).

Estes dispositivos são módulos (células ou pastilhas), baseados no efeito Peltier e são capazes de bombear calor para produzir um resfriamento ou aquecimento (MORAN et al., 2013). Importante destacar, que no núcleo de um refrigerador termoelétrico há dois materiais diferentes, neste caso semicondutores do tipo-n e do tipo-p. Para serem eficientes na refrigeração termoelétrica, os materiais devem ter baixa condutividade térmica e elevada condutividade elétrica (MORAN et al., 2013). O dissipador de calor é uma peça fundamental para o bom funcionamento de diferentes tipos de equipamentos e maquinários eletrônicos, pois possuem a função de facilitar a troca térmica do sistema com o meio ambiente, sendo a seleção ou desenvolvimento do dissipador de calor essencial na operação das pastilhas termoelétricas (ÇENGEL; GHAJAR, 2012), já que os módulos não retiram calor, e sim, transportam de uma face para outra. Por fim o objetivo desse trabalho é projetar e construir um refrigerador portátil para líquidos, além de validar sua eficiência após finalizado o protótipo.

2 I MATERIAIS E MÉTODOS

Para a fabricação e testes de funcionamento do equipamento que terá a capacidade de refrigerar e conservar líquidos, foi necessário o uso de pastilhas termoelétricas. Para a escolha do melhor módulo termoelétrico além do dimensionamento, foi efetuado testes práticos com os módulos TEC1-12706 e TEC1-12708, alimentados por uma fonte convencional de 12 V.

Para o sistema de dissipação térmica, foram feitos testes práticos com quatro dissipadores de áreas de contato variando entre 54800 mm² a 295600 mm², juntamente com dois modelos de coolers de diferentes potências. Após definido o conjunto de dissipação, foi desenvolvido um modelo 3D para fabricação da carcaça e simulações aerodinâmicas, com o objetivo de melhorar o fluxo de ar e identificar pontos de melhoria na carcaça, produzida por meio de impressão 3D, utilizando filamento em PLA.

O sistema para a condução de calor da face fria da pastilha termoelétrica para o liquido apelidado de conjunto de condução (copo e base), será produzido por um prestador de serviços usinando um tarugo de alumínio de liga 6351-T6, utilizando um torno mecânico.

Já com o protótipo finalizado, todo o conjunto será submetido a testes com uma câmera térmica FLIR embutida no Smartphone Caterpillar S60, e também comparações com o sistema de testes e com uma geladeira convencional modelo DFX41 da Electrolux.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para estimar a carga térmica do sistema, é necessário fixar alguns parâmetros iniciais com o objetivo de realizar os cálculos para o dimensionamento do sistema. Como referência, foi considerado liquido (H_2O) como objeto a ser refrigerado com volume de 220 ml, conhecendo a densidade da H_2O a 25ºC, 0,9970 g/ml (LIDE, 2004) tem-se aproximadamente 220 g de massa; considerando a temperatura inicial do líquido e do ambiente a 25°C e a temperatura final pretendida para resfriamento do líquido de 5°C, em um tempo aproximado de 30 min. Sendo assim, é possível estimar a carga térmica utilizando a Equação (1) (MILHER; MILHER, 2014).

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \qquad (1)$$

Onde: Q - quantidade de calor sensível (cal ou J), m - massa (g), c - calor específico, constante em (cal/ºC) e ΔT - variação de temperatura (ºC).

Portanto: $Q = 220 \cdot 1 \cdot (25-5) = 4340$ cal ou 18410 J

A quantidade de calor que deve ser retirada do líquido para resfriamento até a temperatura desejada, é de 18410 J. Pode-se chegar à potência aproximada do equipamento através da Equação (2).

$$P = Q/t \qquad (2)$$

Onde: Q - Quantidade de calor sensível (cal ou J), P - potência (W) e t - tempo de operação (s).

Portanto: $P = 18410/1800 = 10{,}2$ W

A partir das condições operacionais estabelecidas para o projeto, chegou-se a uma potência mínima de 10,2 W, o que permite agora escolher a pastilha mais adequada.

Com base na curva de performance fornecido pelo fabricante, foi cogitado para este projeto as pastilhas termoelétricas TEC1-12706 e TEC1-12708 (Figura 1), levado em consideração o custo, sua potência, suas características disponibilizadas pelo fabricante.

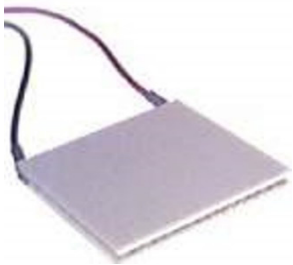


Figura 1. Ilustração pastilha termoelétrica (PELTIERMODULES, 2020)

Analisando os dados fornecidos pelo fabricante (PELTIERMODULES, 2020), tem-se a corrente, tensão e potência máxima de operação do módulo. Para que a pastilha mantenha esses valores em operação, é necessário que se mantenha uma tensão e corrente constante.

Com a principal fonte de consumo elétrico do projeto definido, levando em consideração outros elementos que irão ser agregados ao sistema, foi adquirido uma fonte de 12 V de 10 A, sendo uma fonte compacta quando comparada a outros modelos, e com potência similar, além de ser um modelo muito simples de ser usado.

Para atender as necessidades de designer do protótipo, foi feito um projeto 3D para a criação do protótipo, que foi dividido em 2 partes (parte 1 - conjunto copo e base, e parte 2 - conjunto de isolamento térmico).

Conjunto de condução (Figura 2a), sendo constituído respectivamente pelo copo e base (Figuras 2b e 2c), é responsável pela troca de calor entre o líquido que se pretende resfriar e a pastilha termoelétrica. Para este item, foi utilizado um tarugo de alumínio que foi usinado em um torno.

Parte 2 é responsável pelo isolamento térmico entre o conjunto de condução, o ambiente e o dissipador, fornecendo a sustentação para a fixação dos componentes (Figura 2d). O item foi produzido utilizando uma impressora 3D (Ender 3) com parâmetros definidos em 60 mm/s, temperatura do extrusor em 205°C, largura da camada é de 0,40 mm e 0,20 mm de altura, utilizando o filamento cinza com diâmetro de 1,75 mm em PLA.

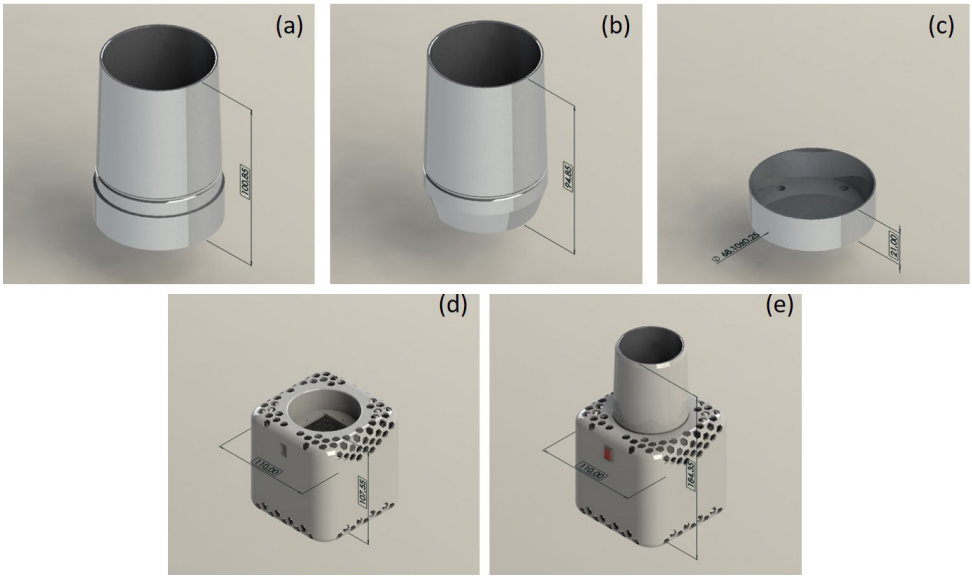


Figura 2. (a) - conjunto de condução em alumínio, (b) - copo em alumínio, (c) - base em alumínio, (d) - carcaça e (e) - conjunto montado, dimensões em mm

Na escolha do dissipador foram feitas uma bateria de testes utilizando 4 modelos de dissipador com área de contato diferentes (Tabela 1). Todos foram montados em um conjunto com dois modelos de cooler. Sendo o primeiro cooler de modelo A9225-42RB-4AP-C1 da fabricante Cooler Master que possui 7,20 W, 64 CFM e ruído de 61 dB, e o segundo cooler de modelo RDL8025S da fabricante Ruilian Science, possuindo 0,98 W, 26 CFM e ruído de 38 dB.

Dissipador	Área de contato aproximada (mm^2)
A1	54800
A2	127600
A3	295600
A4	173000

Tabela 1. Dissipador com área de contato diferentes

Os testes foram realizados utilizando a pastilha termoelétrica TEC1-12708 com 220 ml de H_2O na temperatura ambiente de 25°C durante 30 min, monitoradas a cada 5 min. O termômetro utilizado possui uma escala que vária em 1ºC, e a cada troca do dissipador, o conjunto de condução era submergido em um balde com água durante 5 min para que ficasse em temperatura ambiente antes da próxima bateria de teste.

Analisando a Figura (3a), o conjunto com cooler A9225-42RB-4AP-C1 e dissipador

A3, demostram melhor eficiência na dissipação térmica devido haver uma maior área de contato para troca térmica por convecção forçada. Comparando os demais conjuntos com dissipador A3, o dissipador A4 apresenta uma perda de eficiência aproximada de 12%, para o dissipador A2 a perda é de aproximadamente 24,50%, e para o dissipador A1 a perde chega a aproximadamente 29,50%.

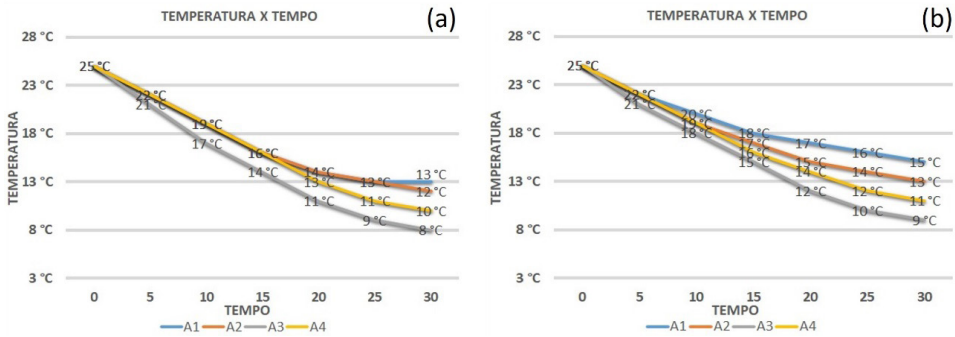


Figura 3. (a) - cooler Cooler Master e (b) - cooler Ruilian Science

Analisando a Figura (3b), o conjunto com cooler modelo RDL8025S e dissipador A3, demostra melhor eficiência na dissipação térmica devido a uma maior área de contato para troca térmica por convecção forçada. Comparando os demais conjuntos com dissipador A3, o dissipador A4 apresenta uma perda de eficiência aproximada de 12,50%, para o dissipador A2 a perda é de aproximadamente 25%, e para o dissipador A1 a perda chega a aproximadamente 37,50%.

Após comparar os resultados (Figuras 3a e 3b), é possível notar que o dissipador A3, apresenta uma melhor eficiência independente do cooler utilizado. Seu tamanho inviabiliza o uso para este projeto, por não ser tão compacto e ter 700 g. Já o dissipador A1, tem um tamanho compacto excelente para o projeto, mas seu desempenho fica a desejar, por possuir uma menor área de contato para troca térmica por convecção forçada. Sendo assim, do ponto de vista técnico e comercial e a partir da análise das (Figuras 3a e 3b), nota-se que o conjunto com o cooler de modelo A9225-42RB-4AP-C1 e dissipador A4 (Figura 4a), é o que atende melhor às perspectivas do projeto refrigerador de líquido.

Durante os testes para a escolha do dissipador e do cooler, foi notado uma leve condensação na parte central da base demonstrado na Figura (4b), a região compreendida dentro do círculo vermelho, sendo uma formação quase totalmente homogênea diferente das formações nas laterais indicadas pelas setas pretas. Após analisar, ficou claro que essa falha é proveniente da usinagem da base (Figura 4c). Por consequência desse mal contato, perde-se uma grande área para a troca de calor impactando diretamente no desempenho do equipamento.

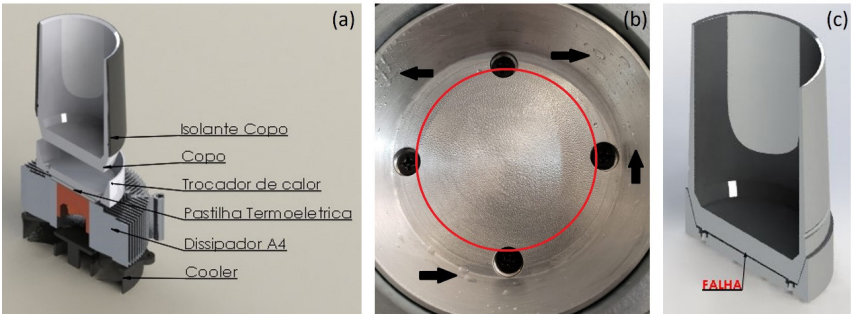


Figura 4. (a) - conjunto com dissipador A4 e cooler A9225-42RB-4AP-C1, (b) - falha na usinagem e (c) - demonstração da falha (folga) na fabricação do conjunto condução

Afim de quantificar essa falha, foram feitos novos testes adicionais utilizando a pastilha termoelétrica TEC1-12708 e cooler modelo A9225-42RB-4AP-C1 também com 220 ml de H_2O na temperatura ambiente de 25°C durante 30 min monitoradas a cada 5 min. Entretanto, dessa vez, diferente do teste feito anteriormente (A4 + Copo e Base), foi utilizado somente o Copo (A4 + Copo) em contato direto com a pastilha termoelétrica e os resultados podem ser vistos na Figura (5a). A diferença final é de 3°C, perdendo nesse caso 20% do seu desempenho uma quantidade muito relevante diante da falha apresentada.

Logo em seguida foi feito um teste com a finalidade de quantificar a diferença no desempenho quando utilizado a pastilha TEC1-12706 comparando ao teste anterior (A4 + Copo). Os dados obtidos podem ser vistos na Figura (5b), é possível notar uma diferença final de 3°C, equivalente a 20% menos desempenho. No entanto o seu consumo durante o teste, ficou em 5,40 A (64,80 W) contra 6,96 A (83,50 W) 28% a menos de consumo. A hipótese para essa diferença, é que com uma menor emissão de calor para ser dissipado, o dissipador e o cooler conseguiram ter um ganho na sua eficiência de 8%, uma vez que, o funcionamento da TEC1-12708 e TEC1-12706 é o mesmo. Sendo assim, optou-se por manter a utilização da TEC1-12708 no protótipo.

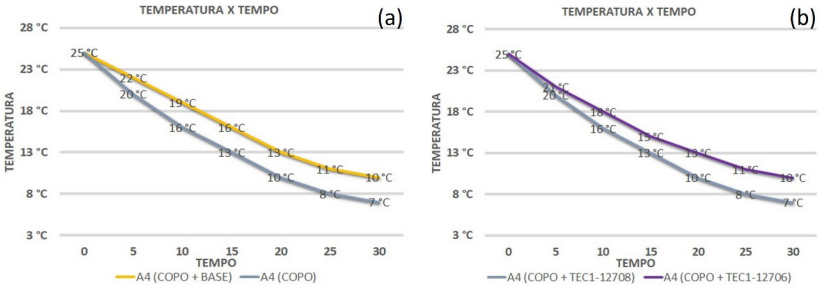


Figura 5. (a) - impacto da falha na fabricação do conjunto condução e (b) - diferença de desempenho entre as pastilhas

Após a definição do sistema de dissipação térmica e da pastilha termoelétrica, foi efetuado uma simulação aerodinâmica com objetivo de observar o impacto do fluxo de ar na dissipação de calor, conforme apresentado na Figuras (6a). Para a simulação, utilizou-se parâmetros do próprio *software* SolidWorks, onde é possível simular a interação das partículas de ar com a hélice do cooler dentro de uma zona delimitada, sendo também possível, introduzir a rotação do sistema, que para esse caso, foi fixado em 4200 rpm, gerando assim, interações bem próximas da realidade.

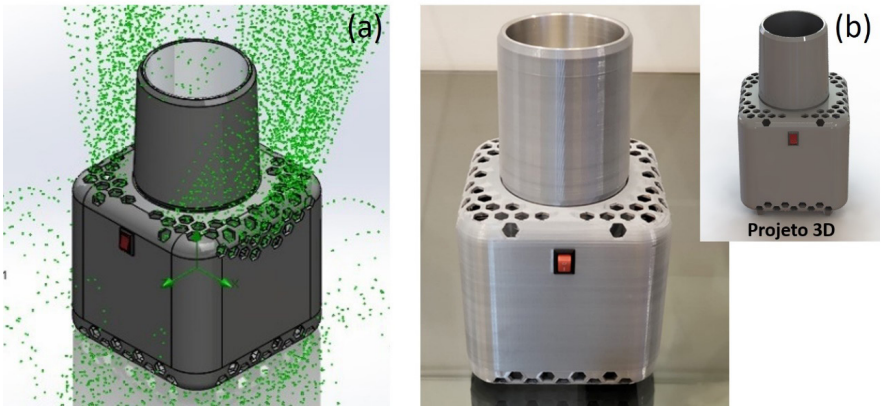


Figura 6. (a) - direcionamento do fluxo de ar vista isométrica.e (b) - refrigerador portátil

Finalizada a impressão da carcaça, inicia-se a montagem do protótipo. Foi incluído o circuito elétrico, que contempla a fiação, conector para energia, conector para o cooler e chave geral. Já na fixação da pastilha termoelétrica, foi utilizado pasta térmica nas áreas de contato com o dissipador e com o conjunto de condução facilitando o fluxo de calor. O dissipador foi fixado a carcaça por meio de parafusos, assim como a base do copo. O resultado final está apresentado na Figura (6b).

Foi feito um teste com o protótipo finalizado sendo possível observar uma discreta melhora no seu desempenho quando comparado ao conjunto inicial A4, demostrando assim, que a carcaça cumpriu seu papel no isolamento do sistema (Figura 7a).

Utilizando a câmera térmica fixada ao Smartphone Caterpillar S60, com uma precisão de 0,10°C, uma resolução de imagem de 640 x 480 pixels e com uma temperatura ambiente de 21°C, foi possível acompanhar a dissipação de calor no protótipo (Figura 18), sendo monitorada durante 30 min.

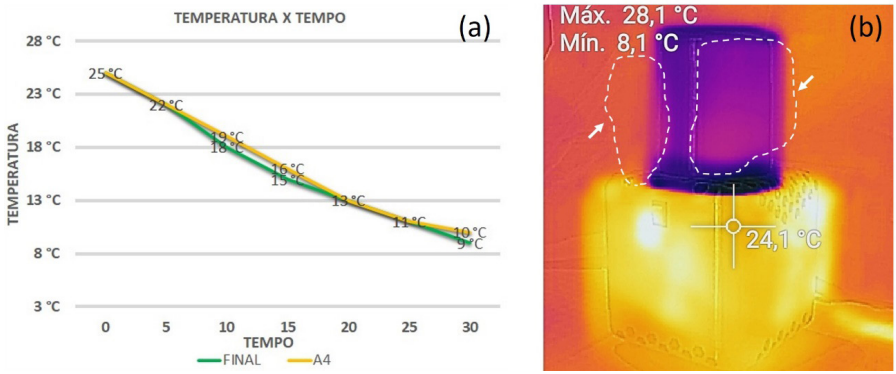


Figura 7. (a) - gráfico comparativo A4 x Protótipo final e (b) - imagem termográfica após 30 min em funcionamento

Analisando as imagens, foi possível validar a simulação aerodinâmica. Comparando as imagens observadas pela câmera térmica, com a situação esperada (Figura 6a) e destacando a área compreendida dentro da marcação com linhas tracejadas (Figura7b), nota-se uma coloração mais avermelhada, sendo este o resultado da saída do ar quente da carcaça, que mesmo não incidindo diretamente, influencia na troca de calor do isolamento do copo com o ambiente, devido à sua proximidade. Uma situação prevista na simulação e marcada previamente como ponto de atenção.

Neste teste (Figura 7b), o protótipo apresentou uma temperatura máxima de 28,1°C em sua chave (devido a passagem da corrente elétrica), uma mínima de 8,1°C na parte externa do copo (o liquido chegou a uma temperatura de 5°C), sendo que na maior parte da carcaça a temperatura ficou por volta de 24,1°C.

Também foi possível notar o impacto da temperatura ambiente no desempenho do protótipo, atuando de forma constante em seu resultado, o que facilita aproximações para outras condições iniciais próximas as contempladas nos testes.

Refletindo sobre todo o projeto, foi possível identificar pontos de melhorias que impactam diretamente no seu desempenho, como a correção da falha no conjunto de condução, a incidência de ar quente no isolamento do copo e uma possível tampa para o copo, uma vez que, com esses detalhes alterados, estima-se ser possível atingir em uma temperatura de 25°C para 3°C em 30 min.

No entanto, levando em consideração todas essas mudanças e retomando os cálculos iniciais utilizando a Equação (1) para a carga térmica, tem-se: $Q = 220 \cdot 1 \cdot (25-3) = 4840$ cal ou 20260 J. Aplicando a energia na Equação (2) da potência, tem-se: $P = 20260/1800 = 11{,}25$ W.

Levando em consideração que o sistema consome 83,50 W o rendimento do sistema como um todo, mesmo fazendo as correções possíveis, fica em torno de 14% uma eficiência energética baixa que em sua maior parte se dá ao baixo rendimento da pastilha

termoelétrica.

No entanto, quando comparamos o desempenho do protótipo a uma Geladeira Frost Free modelo DFX41, ainda assim, tem-se um excelente desempenho. Para esse teste foi utilizado 220 ml de água a 25°C e um copo padrão de vidro com espessura de sua parede lateral de 2,40 mm e com seu fundo de 5,25 mm em vidro com um volume de 225 ml monitorado a cada 5 min com duração total de 30 min. Os resultados podem ser vistos na Figura (8a).

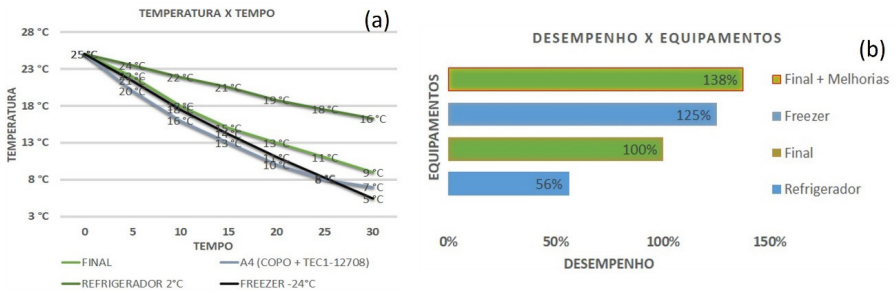


Figura 8. (a) - gráfico comparativo com sistemas convencionais de refrigeraçãoe (b) - gráfico comparativo entre os equipamentos

Importante destacar, que no momento dos testes a geladeira estava em funcionamento, soprando uma rajada de ar contínua no seu interior, promovendo uma melhor troca de calor.

Em sua parte mais quente (Refrigerador), que no momento do teste a 2°C, obteve uma temperatura de 16°C. Já na sua parte mais fria (Freezer), que no momento do teste estava em -23°C, obteve uma temperatura de 5°C. O protótipo final partindo das mesmas condições conseguiu atingir 9°C, entretanto após fazer as correções descritas anteriormente o protótipo poderá atingir 3°C ou até menos nesse mesmo tempo.

Adotando o protótipo como 100% de desempenho, tem-se que o refrigerador perdeu por uma diferença de 44% e o Freezer conseguiu ganhar por 25%. Já o protótipo quando forem aplicadas as melhorias descritas anteriormente, chegará a 38% a mais de desempenho, apresentando um resultado excelente, tendo em vista, suas proporções e limitações (Figura 8b).

4 I CONCLUSÃO

Buscando criar um equipamento inovador, este trabalho atingiu com êxito seu objetivo de projetar, construir e testar um protótipo para o resfriamento de líquidos, utilizando o efeito Peltier; sendo possível baixar a temperatura de 220 ml de água a 25°C para 9°C em 30 min, além de colocar à prova as ferramentas, métodos e equipamentos

usados nesse projeto.

Outro destaque importante, foi a comparação do protótipo final a um modelo de refrigerador convencional, e mesmo frente a este desafio, foi possível obter um excelente resultado, chegando a 44% a mais de desempenho que o Refrigerador, demonstrando que o protótipo, mesmo antes de aplicar correções e melhorias, pode sim, se tornar um excelente produto, proporcionando uma solução pequena, portátil, segura e eficiente para refrigeração.

REFERÊNCIAS

Çengel, Y.A.; Ghajar, A.J. **Transferência de Calor e Massa - Uma Abordagem Prática**. AMGH, Porto Alegre, 2012, 928p.

Costa, E.C. **Refrigeração**. Blucher, São Paulo, 1982, 324p.

Lide, D.R. **Handbook of Chemistry and Physics**. CRC Press, 2004, 2712p.

Milher, R.; Milher, M.R. **Ar-Condicionada e Refrigeração**. LTC Editora, Rio de Janeiro. 2014, 586p.

Moran, M.J.; Shapiro, H.N.; Boettner, D.D.; Bailey, M.B. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. LTC Editora, Rio de Janeiro, 2013, 872p.

Peltiermodules. **Catalogue of our peltier modules**. Disponível <https://peltiermodules.com/?p=product>. Acesso em: 21 de junho de 2020.

Silva, J.G. **Introdução à Tecnologia da Refrigeração e da Climatização**. Artliber, São Paulo, 2019, 264p.

CAPÍTULO 12

PROPOSTA DE INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO TERMO-HIDRÁULICO DE NANOFLUIDOS NA REFRIGERAÇÃO DE REATORES NUCLEARES À ÁGUA LEVE

Data de aceite: 04/01/2021

Alexandre Melo de Oliveira
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN
Campus da UFMG – Pampulha
Belo Horizonte - Minas Gerais, Brasil

Amir Zacarias Mesquita
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN
Campus da UFMG – Pampulha
Belo Horizonte - Minas Gerais, Brasil
http://lattes.cnpq.br/6461195671708122
https://orcid.org/0000-0003-3411-5984

Isabela Carolina Reis
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN
Campus da UFMG – Pampulha
Belo Horizonte - Minas Gerais, Brasil
http://lattes.cnpq.br/1191347602188636

RESUMO: O desenvolvimento de nanofluidos é extremamente importante para aprimorar a condutividade térmica dos fluidos base. Uma das maneiras de se melhorar a segurança das centrais nucleares está relacionada à melhoria da sua capacidade de transferência de calor. O estudo de novos fluidos que melhorem a taxa de remoção de calor é fundamental para se obter maior eficiência de sistemas energéticos. Dentre os diversos fatores que comprometem a eficiência dos sistemas energéticos, podem-se destacar as limitações termofísicas dos fluidos convencionais. Estas limitações inibem, de forma bastante significativa, algumas aplicações industriais. Este artigo apresenta uma proposta de trabalho a ser realizada no Laboratório de Termo-hidráulica do CDTN, que tem como objetivo o estudo da melhoria das características de transferência de calor do refrigerante, utilizado no circuito primário dos reatores nucleares, através da adição de nanopartículas. Serão utilizados, principalmente, nanotubos de carbono em água leve, que é o fluido mais utilizado para refrigeração dos reatores nucleares. Como suporte ao trabalho será projetada, montada e calibrada uma bancada experimental, com intuito de estudar o comportamento termo-hidráulico destes componentes.

PALAVRAS-CHAVE: Nanofluidos; Eficiência Térmica; Termo-Hidráulica; Reatores Nucleares.

1 I INTRODUÇÃO

Nanofluidos são conhecidos por apresentar possibilidade de transferência de calor superior e são, portanto, investigados para aplicações em engenharia [1, 2, 3]. O estudo de novos fluidos que melhorem a taxa de remoção de calor, é fundamental para se obter maior eficiência de sistemas energéticos. Dentre os diversos fatores que comprometem a eficiência dos sistemas energéticos, pode-se destacar as limitações termofísicas dos fluidos convencionais, inibindo de forma bastante significativa algumas aplicações industriais. Neste trabalho, pretende-se estudar as características de transferência de

calor de fluidos comumente utilizados, através da adição de nanopartículas, constituídas de nanotubos de carbono, em água leve. Água é o fluido mais utilizado, atualmente, na refrigeração de reatores nucleares.

A melhoria das propriedades térmicas é limitada pela condutividade térmica do fluido de trabalho. Com objetivo de superar tais limitações, diversos estudos de fluidos com partículas sólidas em suspensões vêm sendo realizados, desde a primeira publicação de Maxwell no final do século XIX [4]. Segundo [5], entretanto, tais estudos estão limitados à utilização de partículas com escala micro, que apresentam algumas desvantagens como:

- Sedimentação – as partículas, após algum tempo, sedimentam-se, criando uma camada junto às superfícies reduzindo a capacidade térmica.
- Desgaste – é possível reduzir a sedimentação, através do aumento da velocidade de circulação do fluido, mas com aumento do desgaste dos equipamentos e tubulações, etc.
- Obstrução – devido às dimensões das partículas os canais tendem a ficar obstruídos, particularmente nos estreitos canais de refrigeração.
- Perdas de carga – aumentam de forma bastante significativa.
- Condutividade térmica – é proporcional à concentração de partículas, mas potenciando problemas anteriores.

2 | NANOFLUIDOS

Nanofluidos são constituídos por dispersões coloidais com um refrigerante tradicional como uma base, na qual as nanopartículas são suspensas. Em 1995, Choi [6], foi o primeiro a utilizar o termo “nanofluidos”, e publicou os resultados de sua pesquisa teórica. Desenvolvimentos subsequentes em engenharia de nanofluidos contribuíram para o rápido crescimento da nanotecnologia e tecnologias de superfície ao longo da última década [7].

As suspensões coloidais mostraram substancialmente intrigantes do ponto de vista dos desempenhos térmicos, sobre quatro pontos [6]:

1. Aumento da condutividade térmica (aprox. 150%);
2. Aumento monofásico do coeficiente de transferência de calor (aprox. 60%);
3. Aumento do fluxo crítico de calor com regime de ebulição nucleada estendida (aprox. 200%);
4. Aumento da eficiência de resfriamento.

Verificou-se que apresentam propriedades térmicas melhoradas, por exemplo, quando atuando como líquido de arrefecimento, elevam o ponto de fluxo crítico de calor e

molhabilidade da superfície em pequenas concentrações, o que é uma característica útil nos reatores nucleares.

Em trabalho recente [8], avaliaram experimentalmente nanofluidos de nanotubos de carbono de parede múltipla (MWCNTs- *Multi-walled Carbon Nanotubes)* a base de água, com concentrações em volume de $0 < \varphi < 0{,}24\%$, para vazões mássicas de 20 g/s até 90 g/s. O calor fornecido pela parede do tubo através da resistência na seção de teste variou entre 500 W até 900 W. A avaliação do desempenho termo-hidráulico das três amostras de nanofluidos testadas foi realizada especificando o coeficiente relativo de transferência de calor por convecção, em função da potência de bombeamento relativa obtida nas potências de bombeamento na seção de teste. As três amostras estudadas, apresentaram um incremento na condutividade térmica, em média, de 6,3%, 8,8% e 17% superiores a do fluido base (água destilada). Demostrando o efeito da concentração no aumento desta propriedade. No entanto as três amostras também apresentaram um incremento na viscosidade em média de 8,8%, 17,8% e 11,6%.

Muito se tem estudado a respeito do desempenho da transferência de calor em diversos tipos de escoamento utilizando nanofluidos, constituídos de nanopartículas de diferentes materiais e diversos fluidos base, conforme mostrado na Tabela 1.

Autor	Faixa de escoamento	Tipo de Nanofluido	Incremento do coeficiente convectivo (%)
[9]	Turbulento	Al_2O_3 em água	+45
[10]	Laminar	Al_2O_3 em água	+47
[11]	Turbulento	SiC em água	-7 para 3.5vol% mesma velocidade
[12]	Turbulento	TiO_2 em água	+26 para 1vol% -14 para 2vol%
[13]	Turbulento	TiO_2 em água	+22
[14]	Turbulento	TiO_2 e Al_2O_3 em água	+15%, mesmo número de Reynolds. -10%, mesma potência de bombeamento.

Tab. 1. Comparação dos trabalhos realizados que analisaram a transferência de calor por convecção em nanofluidos.

Fonte: [8]

Ainda que muitos dos estudos relatados mostrem que houve aumento da transferência de calor por convecção forçada utilizando nanofluidos, escoando em regime laminar e turbulento, outras pesquisas mostram inconsistências nos resultados apresentados, ou seja, sob certas condições relatam incremento no coeficiente de transferência de calor.

Há situações onde não é verificado acréscimo tampouco diminuição no coeficiente de transferência de calor por convecção quando nanopartículas são adicionadas aos fluidos base. Contudo, nota-se em alguns casos a redução do valor do coeficiente de transferência de calor por convecção. Portanto, ainda são necessários mais estudos que validem e verifiquem o desempenho termo-hidráulico destes novos fluidos de arrefecimento [8].

Foi realizado um estudo sobre a utilização de nanofluidos para sistemas de resfriamento de emergência do núcleo, que é uma característica de segurança das centrais nucleares [3]. Tais estudos mostraram que houve um aumento do fluxo de calor crítico, através da injeção de nanofluido em caso de perda da refrigeração por acidente.

Foram obtidas experimentalmente as curvas de inibição (temperatura versus tempo) em pequenas esferas (~1 cm) metálicas expostas a água pura e nanofluidos à base de água com alumina, sílica e nanopartículas de diamante em baixas concentrações ($\leqslant$ 0,1% Vol) [16]. As esferas utilizadas eram feitas de aço inoxidável e zircaloy, e foram resfriadas a partir de uma temperatura inicial de, aproximadamente, 1000°C. Os resultados mostram que o comportamento de têmpera em nanofluidos é quase idêntica à da água pura. No entanto, verificou-se que algumas nanopartículas acumular na superfície da esfera, o que resulta na desestabilização da película de vapor em testes subsequentes com a mesma esfera, acelerando, assim, muito o processo de resfriamento.

Utilizou-se nanofluidos constituídos de dispersões diluídas de alumina, zircônia, e nanopartículas de sílica em água. Vários parâmetros que afetam a transferência de calor (ponto de ebulição, viscosidade, condutividade térmica, e a tensão superficial de ebulição) foram medidos e de forma consistente com outros estudos nanofluido [17], verificou-se ser semelhante aos de água pura. Entretanto para *pool boiling* experimentos mostraram melhorias significativas do fluxo crítico de calor nos nanofluidos (até 200%).

3 I METODOLOGIA

O principal objetivo desta pesquisa é o estudo e melhoria da condutividade térmica em sistemas de nanofluidos com adição de nanotubos de carbono. Para isto existem vários métodos, que se pretende utilizar, para a medição da condutividade térmica, ou sejam: oscilações de temperatura, placas paralelas em regime permanente (*steady-state parallel plate*) e a técnica do fio quente transiente (*transient hot wire*), sendo esta última a mais utilizada [18].

A técnica do fio quente funciona medindo a resposta temperatura/tempo do foi a um pulso elétrico abrupto. Nesta técnica o fio funciona como aquecedor e termômetro, sendo a condutividade térmica calculada através de uma derivação da Lei de Fourier.

Sistemas com suspensão de nanotubos de carbono têm apresentados os valores mais elevados para a condutividade térmica. Um estudo realizado por [19] sobre nanofluidos constituídos de nanotubos de parede múltipla adicionados à óleo, com objetivo de medir a

condutividade térmica efetiva. Os resultados experimentais chamaram atenção por serem muito superiores aos indicados pelas previsões teóricas.

Em trabalho recente [9], estudaram nanofluidos à base de água de Al_2O_3 e ZrO_2 foram caracterizados quanto à sua utilização promissora em aplicações de transferência de calor. Prepararam-se três concentrações diferentes de soluções dispersas de nanofluidos citados (0,01% vol., 0,05% vol., e 0,1% vol.) de nanofluidos comerciais. As medições experimentais foram realizadas a diferentes temperaturas. Condutividade térmica, viscosidade e densidade dos nanofluidos foram medidos. Concluiu-se que a concentração em volume, tamanho de partícula/forma e temperatura são variáveis importantes.

4 I RESULTADOS E CONCLUSÃO

Esta pesquisa iniciou-se em março deste ano (2016). No momento encontra-se em andamento a revisão bibliográfica, incluindo pesquisa dos nanofluidos mais adequados a serem adquirido para testes na bancada experimental.

Devido ao potencial da utilização de nanofluidos em sistemas de refrigeração de reatores nucleares, mesmo com a pesquisa ainda em andamento, foi verificada a viabilidade dessa aplicação. Constatando diversos benefícios nessa possibilidade de uso, com isso pode-se melhorar as características da transferência de calor de fluidos habitualmente utilizados como refrigerante, adicionando nanopartículas constituídas de nanotubos de carbono. E atuando como líquido de refrigeração primária em sistemas de segurança, contribuindo para a atenuação de acidentes graves.

AGRADECIMENTOS

Os autores destacam o agradecimento as seguintes instituições brasileiras: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e Instituto Nacional para Reatores Nucleares Inovadores (INCTRNI).

REFERÊNCIAS

[1] Choi, S.U.S. “Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles”. Developments and Applications of Non-Newtonian Flows, New York, 23, 99-105, (1995).

[2] Kim, H *et al.,* “On the quenching of steel and zircaloy spheres in water-based nanofluids with alumina, silica and diamond nanoparticles”. International Journal of Multiphase Flow, 35, 427-438, (2009).

[3] Sajadi, A.R.; Kazemi, M.H. “Investigation of turbulent convective heat transfer and pressure drop of TiO2/waternanofluid in circular tube”. International Communications in Heat and Mass Transfer, 38, n.

10. 1474–1478. (2011).

[4] Choi, S.U.S. “Nanofluid Technology: Current status and future research”. Second Korean-American Scientists and Engineers Association Research Trend Study Project Review and the Korea-U.S., Viena-VA, (1998).

[5] Wen, D.; Ding, Y. “Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions”. International Journal of Heat and Mass Transfer, n. 47. 5181-5188. (2004).

[6] Choi, S.U.S. “Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles”. Developments and Applications of Non-Newtonian Flows, New York, 23, 99-105, (1995).

[7] Duangthongsuk, W; Wongwises, S. “Effect of thermophysical properties models on the predicting of the convective heat transfer coefficient for low concentration nanofluid”. International Communications in Heat and Mass Transf. Vol. 35, 1320–1326. (2008).

[8] Haghighi, E.B *et al.*, “Experimental Study on Convective Heat Transfer of Nanofluids in Turbulent Flow: Methods of Comparison of Their Performance”. Experimental Thermal and Fluid Science, (2014).

[9] Rocha, Marcelo S *et al.*, “Thermophysical Characterization of Al_2O_3 and ZrO_2 Nanofluids as Emergency Cooling Fluids of Future Generations of Nuclear Reactors”. Proceedings:: 2015 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants, Nice-France, (2015).

[10] Wen, D.; Ding, Y. “Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions”. International Journal of Heat and Mass Transfer, n. 47. 5181-5188. (2004).

[11] Yu, W *et al.*, “Heat transfer to a silicon carbide/water nanofluid”. International Journal of Heat and Mass Transfer, n. 52, 3606-3612. (2009).

[12] Gómez, A.O.C.; Bandarra, F.E.P. “Análise Experimental do Desempenho Termo-Hidráulico de Nanofluidos MWCNTs/H2O”. Simpósio do Programa de Pós - Graduação em Engenharia Mecânica, Uberlândia-MG, (2014).

[13] Silva, B.A.A.D. “Caracterização de nanofluidos do ponto de vista termo-físico”. Universidade de Aveiro, (2010).

[14] Kang, M. *et al.*, “Design process of the nanofluid injection mechanism in nuclear power plants”. Nanoscale Research Letters, Vol. 6, n. 1 (2011).

[15] Haghighi, *et al.*, “Experimental Study on Convective Heat Transfer of Nanofluids in Turbulent Flow: Methods of Comparison of Their Performance”. Experimental Thermal and Fluid Science, (2014).

[16] Kim, S. J., “Pool boiling heat transfer characteristics of nanofluids”, (2007). Disponível em: http://hdl.handle.net/1721.1/41306. Acessado em 05 jan 2016.

[17] Yanjiao, *et al.,* “A Review on Development of Nanofluid Preparation and Characterization”, Powder Technology, pp. 89-101 (2009).

[18] Pak, B. C. and Cho, Y. I., “Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particles”. Exp. Heat Transfer, n. 11, pp. 151-170, (1998).

[19] Chupin, A *et al.*, “Applications of nanofluids to enhance LWR accidents management in in-vessel retention and emergency core cooling systems”. Proceedings of International Congress on Advances in Nuclear Power Plants, California, (2008).

CAPÍTULO 13

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO ESCOAMENTO DE AR EM DIFUSORES PARA APLICAÇÃO NA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

Data de aceite: 04/01/2021
Data de submissão: 08/12/2020

Silmara Bispo dos Santos
Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas
Rondonópolis – MT
http://lattes.cnpq.br/1531926411008959

Rodrigo Sabino Pereira
Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas
Rondonópolis – MT
http://lattes.cnpq.br/8885976197693204

Francisco Carlos Lima de Souza
Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas
Rondonópolis – MT
http://lattes.cnpq.br/9263077966112948

Keteri Poliane Moraes de Oliveira
Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas
Rondonópolis – MT
http://lattes.cnpq.br/9858489988459925

Edson Godoy
Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas
Rondonópolis – MT
http://lattes.cnpq.br/0728397597035898

RESUMO: Atualmente, a eletricidade em todo o mundo é obtida de fontes não renováveis. No entanto, fontes limpas e renováveis têm se mostrado mais atraentes para a geração de energia, porque representam uma solução potencial para o problema do aquecimento global. Portanto, há um aumento constante de usos de fontes alternativas de geração de energia, como o vento. No Brasil, a geração eólica ocorre principalmente com o uso de turbinas de grande porte, em regiões onde a velocidade média é superior a 7 m/s, sendo a geração eólica por meio de microgeradores ainda incipiente. Técnicas para a geração de energia eólica em escala micro (principalmente em locais de baixas velocidades de vento) precisam ser aprimoradas de modo a se obter uma maior eficiência de conversão e favorecer a viabilidade deste aproveitamento. Este estudo foi desenvolvido para avaliar o comportamento do escoamento do ar em difusor para aplicação na geração de energia eólica. Os modelos D2, D8, D16 e D13 foram os que promoveram maior aumento de velocidade do vento dentro do bocal, porém com desvantagem em relação ao modelo D18 devido a possuírem maior relação de comprimento L/D o que na prática pode contribuir para um maior custo de aplicação destes modelos. O modelo D16 se destacou por apresentar uma razão de potência de 8,86, e uma relação entre a velocidade máxima e a velocidade de corrente livre igual a 2,07. Para futuros estudos, pretende-se ainda trabalhar com melhoramento das geometrias, suavizando as curvas do bocal criando-se um bordo de ataque que permita o alinhamento do escoamento para minimizar os efeitos de separação do fluido, encurtando-se também o comprimento do bocal utilizando espécies de flanges na saída do dispositivo para melhorar aproveitamento de

área de seção de escoamento e evitar a recirculação do ar para dentro do bocal.
PALAVRAS-CHAVE: Difusores aumentados, Dinâmica dos Fluidos Computacional, Potência Eólica.

COMPUTATIONAL SIMULATION OF AIR FLOW IN DIFFUSER FOR APPLICATION IN WIND POWER GENERATION

ABSTRACT: Currently, electricity worldwide is obtained from non-renewable sources. However, clean and renewable sources have been shown to be more attractive for power generation, because they represent a potential solution to the problem of global warming. Therefore, there is a constant increase in the use of alternative sources of energy generation, such as the wind. In Brazil, wind generation occurs mainly with the use of large turbines, in regions where the average speed is above 7 m/s, with wind generation through micro-generators still incipient. Techniques for generating wind energy on a micro scale (mainly in places with low wind speeds) need to be improved in order to obtain greater conversion efficiency and favor the viability of this use. This study was developed to evaluate the behavior of air flow in a diffuser for application in the generation of wind energy. The models D2, D8, D16 and D13 were the ones that promoted a greater increase in wind speed inside the nozzle, however with disadvantage in relation to the model D18 due to their greater L/D length ratio, which in practice can contribute to a greater cost of applying these models. The D16 model stood out for having a power ratio of 8.86, and a ratio between maximum speed and free current speed equal to 2.07. For future studies, it is also intended to work with the improvement of geometries, smoothing the nozzle curves creating a leading edge that allows the flow alignment to minimize the effects of fluid separation, also shortening the nozzle length using types of flanges at the outlet of the device to improve the use of the flow section area and avoid the recirculation of air into the nozzle.
KEYWORDS: Diffuser augmented, Computational Fluid Dynamic, Wind Power.

1 I INTRODUCÃO

O vento tem sido uma das principais fontes de geração de energia renovável no Brasil nos últimos anos. Regiões com velocidades de vento mais baixas também poderiam se beneficiar da geração de energia eólica em pequena escala e geração descentralizada usando micro turbinas com rotores adequados para partidas de baixa velocidade. Além disso, o uso de dispositivos auxiliares, como difusores, pode contribuir para o aumento da velocidade do vento que atravessa o rotor e, consequentemente, causar um aumento da energia eólica gerada.

A exploração da energia eólica ocorre através da conversão da energia cinética contida nos ventos em energia mecânica e, posteriormente em energia elétrica, por meio de um gerador. A quantidade de energia cinética contida em um fluxo da massa de ar é função da velocidade do vento, da área varrida do rotor da turbina e da massa específica do vento. Na Figura 1 está representado um volume de controle contendo um rotor de turbina

eólica localizado entre as seções 2 e 3 de um difusor.

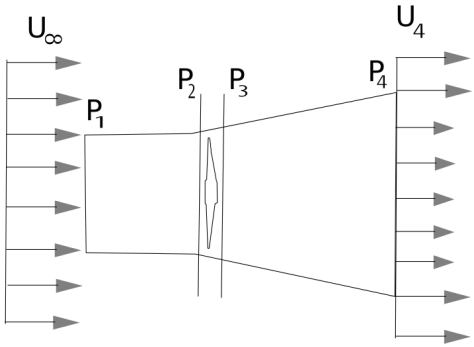


Figure 1. Volume de controle para análise do escoamento do vento em um difusor.

Considerando o vento com velocidade de corrente livre U∞, velocidade do vento na entrada do volume de controle que inclui a turbina U2, pressão P1 igual a P4 e igual a Patm local, e desprezando diferença de pressão entre as seções 2 e 3, a potência eólica P do vento pode ser calculada pela Equação 1.

$$P = \frac{1}{2}\rho A {U_2}^3 \quad (1)$$

Onde ρ é a massa específica de ar (kg/m^3), A é a área varrida pelo rotor da turbina (m^2) e U_2 é a velocidade do vento que entra no rotor (m/s).

Em busca da geração alternativa de energia eólica baseada nas regiões com menores velocidades do vento, vários autores colocaram em prática suas pesquisas para acelerar o vento antes que ele passasse pelas pás da turbina usando um dispositivo tipo difusor. A turbina contendo este dispositivo é do tipo DAWT (turbina eólica com difusor aumentado). Após o primeiro modelo proposto por Lilley e Rainbird (1956), vários estudos experimentais e computacionais foram realizados (Oman et al., 1975), (Foreman et al., 1978), (Phillips et al., 2002). Estes estudos mostraram resultados experimentais que confirmam que as turbinas eólicas com difusor podem extrair muito mais energia do vento do que qualquer turbina sem difusor em condições de vento similar com o mesmo diâmetro do rotor. Estudos teóricos e numéricos foram realizados para investigar e melhorar o desempenho de DAWTs (Abe et al., 2005); (Ohya et al., 2008); (Jafari e Kosasih, 2014); (Wang et al., 2015). A maioria dessas pesquisas apresentou conclusões semelhantes com os resultados experimentais iniciais.

Ao longo de anos, este dispositivo foi sendo modificado para se conseguir o máximo de aproveitamento do vento com o mínimo de custo, surgindo com isso um termo conhecido como “Wind Lens Turbine” para o sistema de geração eólica que inclui a turbina e um

difusor de comprimento bastante reduzido com um grande flange conectado na sua saída. Devido a formação de vórtice na parte posterior do flange, uma enorme quantidade de fluxo de massa pode ser escoada pela turbina. Trabalhos experimentais de vários autores demonstraram que o limite de Betz pode ser excedido quando se utiliza uma turbina com este tipo de dispositivo difusor flangeado (Oka et al. 2016). O limite de Betz indica que, mesmo para as turbinas mais eficientes (turbinas de 2 ou 3 pás de eixo horizontal), é possível recuperar apenas um máximo de 59% da energia do vento, o que significa que o coeficiente teórico máximo de potência é, aproximadamente, 0,59.

Govindharajan et al. (2013), realizaram uma investigação numérica para a otimização no projeto de um difusor flangeado do tipo Wind Lens, que trata do efeito das regiões de baixa pressão geradas pelo dispositivo sobre a vazão mássica através da turbina eólica e aumento de torque.

Kunjir et al. (2018) realizaram uma análise da performance de turbinas eólicas usando tecnologia de Wind Lens em que eles analisaram que a estrutura de anel com abas simples cria turbulência atrás das pás da turbina para atrair mais fluxo de ar para a turbina. A estrutura efetivamente aumentou a velocidade da turbina e, portanto, levou a um aumento de 20 a 25% da potência gerada.

Considerando a necessidade de se ampliar o entendimento sobre como ocorre o escoamento do ar nestes dispositivos e o aumento na geração de potência destes sistemas, muitos trabalhos tem sido desenvolvidos utilizando ferramentas de CFD (Computational Fluid Dynamics). O uso de CFD, permite estudar e interpretar fenômenos de um escoamento de fluido e prever resultados, possibilitando a otimização de sistemas com significativa redução do número de experimentos e de custos para a construção de protótipos.

Diante disso, com este trabalho tem-se, o objetivo de analisar por meio de ferramentas de CFD, o efeito de diferentes geometrias de difusores aumentados sobre o comportamento do escoamento internamente e ao redor destes dispositivos.

2 I COMPUTATIONAL PROCEDURE

As etapas para o desenvolvimento de estudos utilizando ferramentas de CFD incluiram:

1) Definição da geometria a ser analisada e do domínio computacional (limite físico onde as equações básicas da mecânica dos fluidos serão resolvidas).

Uma representação genérica da geometria a ser avaliada está representada na Figura 1, porém foram avaliadas diferentes geometrias variando-se ângulos de divergência do bocal (α), e variando-se as relações de comprimento e diâmetro de entrada (L/D). Na Tabela 1 estão apresentados os parâmetros utilizados para a criação das geometrias.

Modelo	α	L/D
Difusor 1 – D1	5	3,0
Difusor 2 – D2	5	2,5
Difusor 3 – D3	5	2,0
Difusor 4 – D4	5	1,5
Difusor 5 – D5	5	1,0
Difusor 6 – D6	5	0,5
Difusor 7 – D7	10	3,0
Difusor 8 – D8	10	2,5
Difusor 9 – D9	10	2,0
Difusor 10 – D10	10	1,5
Difusor 11 – D11	10	1,0
Difusor 12 – D12	10	0,5
Difusor 13 – D13	15	3,0
Difusor 14 – D14	15	2,5
Difusor 15 – D15	15	2,0
Difusor 16 – D16	15	1,5
Difusor 17 – D17	15	1,0
Difusor 18 – D18	15	0,5

Table 1. Parâmetros utilizados para a criação das geometrias.

2) Geração de malhas, onde o volume ocupado pelo fluido é dividido em células discretas.

3) Definição das condições de contorno, onde as condições limites foram definidas. Isso envolveu a especificação do comportamento do escoamento, considerado como incompressível e em regime permanente e das propriedades do fluido nos limites do problema.

4) Simulação computacional, etapa em que as equações foram resolvidas iterativamente usando um modelo de turbulência.

5) Pós processamento, etapa onde os dados numéricos e gráficos (resultados) de gradientes de velocidade e de pressão em todo o campo de escoamento foram analisados.

As etapas deste estudo foram desenvolvidas utilizando o pacote Ansys Fluent 17.0 versão acadêmica.

Para a solução das equações o escoamento foi considerado isentrópico com velocidade de corrente livre de 4,0 m/s a montante e pressão manométrica igual a zero a jusante do escoamento. A massa específica do ar foi considerada de 1,2 kg/m^3, a viscosidade dinâmica de 1,79 x10^{-5} kg/m.s e velocidade zero nas superfícies interna e externa do bico respeitando a condição de parede ou seja a condição de não escorregamento.

O domínio do modelo foi construído de acordo com o mostrado na Fig. 2, ou seja, baseado em um plano secional 2D longitudinal com o eixo de simetria no centro do bocal divergente.

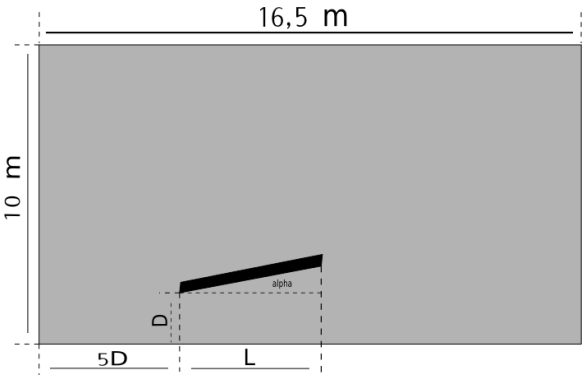


Figura 2. Domain of the model.

A discretização do domínio foi baseada em uma malha estruturada com elementos quadrilaterais. Para a malha padrão, foi gerado um total de 4 malhas com número de elementos diferentes e, em seguida, foi realizada uma análise de convergência da malha em função do gradiente de velocidade no centro do bocal, na região central da simetria conforme mostrado na Figura 3.

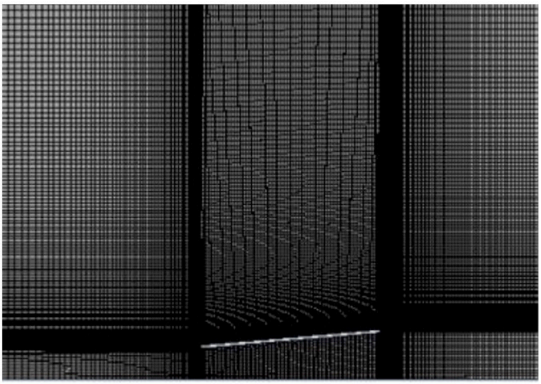


Figura 3. Domínio (a) e malha (b) gerados para o modelo computacional

Na etapa de simulação, foi utilizado o modelo de turbulência k-ω SST com 5% de intensidade de turbulência e 0,45 de escala de turbulência. O algoritmo SIMPLE foi utilizado para tratar o acoplamento velocidade e pressão devido ao conhecido bom desempenho em

uma grande gama de problemas. Para a discretização espacial das equações de transporte utilizou-se o esquema Upwind de segunda ordem. O critério de convergência de 10^{-6} foi aplicado.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gradientes de velocidade obtidos por simulação computacional do escoamento em bocal divergente com ângulo de 5° estão apresentados na Figura 4.

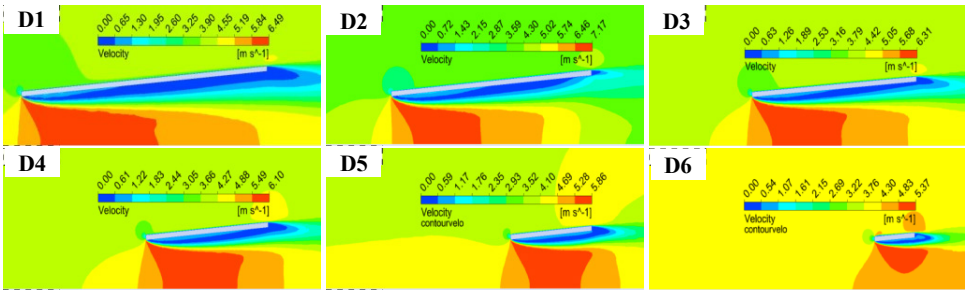


Figura 4. Gradientes de velocidade para os modelos com ângulo de divergência de 5°.

Para os modelos de bocais com ângulo de divergência de 5° observa-se um aumento na velocidade do fluido na região interna do bocal divergente em relação a velocidade de corrente livre (4,0 m/s) para todas as relações L/D. O modelo que proporcionou maior aumento da velocidade do fluido dentro do bocal de ângulo de 5° foi o Difusor 2 cuja relação L/D é igual a 2,5, seguido do Difusor 1 com relação L/d igual a 3. A relação entre a velocidade máxima do fluido dentro do bocal e a velocidade de corrente livre para o Difusor 2 foi de 1,8, indicando que este modelo promove um aumento na velocidade de corrente livre de 80%.

De acordo com os resultados obtidos por simulação, para relação L/D inferior a 2,5, a diminuição do comprimento do bocal, causa uma redução no aumento de velocidade, ou seja, quanto menor o comprimento do bocal, menor o aumento da velocidade na região interna do mesmo.

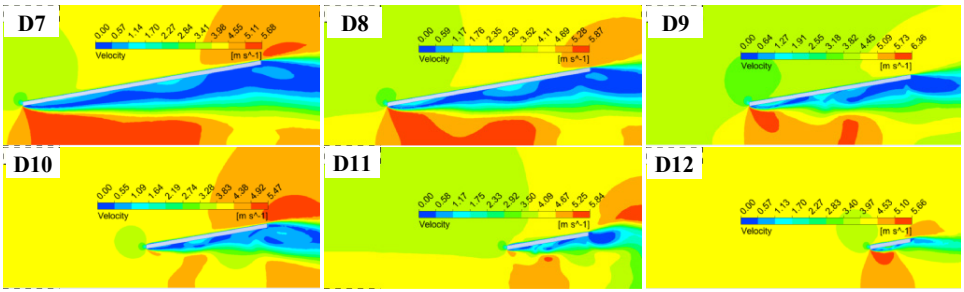


Figura 5. Gradientes de velocidade para os modelos com ângulo de divergência de 10°.

Para os modelos com ângulo de divergência em 10°, verificou-se que existe uma variação de acordo com a relação L/D, na posição em x onde ocorrem os aumentos de velocidade dentro do bocal, conforme mostrado na Figura 5.

Possivelmente, isso ocorre devido à presença de reentrada de fluido (efeitos de vorticidade) a jusante do bocal. Isso se deve ao fato de que a recirculação é mais intensa na parte posterior onde ocorre separação do escoamento.

Os modelos D7 e D8 foram os que apresentaram maior aumento na velocidade do vento. O melhor caso para este ângulo foi o modelo D8, onde sua relação de comprimento L/D também é 2,5 assim como observado para os modelos com ângulo de difusão de 5°. Para este modelo de difusor, a relação entre a velocidade máxima do fluido dentro do bocal e a velocidade de corrente livre foi de 1,45. Os demais casos apresentaram pequenas regiões com velocidade aumentada e, portanto, podem contribuir bem menos para o aumento da potência eólica a ser gerada por uma turbina eólica instalada nestes dispositivos.

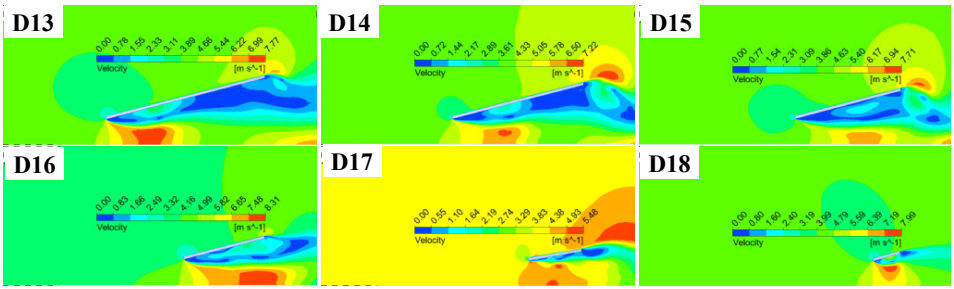


Figura 6. Gradientes de velocidade para os modelos com ângulo de divergência de 15°.

Os gradientes de velocidade obtidos para os bocais com ângulo de 15° estão apresentados na Figura 6. Observa-se um ganho em todos os difusores com ângulo de difusão de 15°, porém os difusores D13 (L/D = 3), D16 (L/D = 1,5) e D18 (L/D = 0,5) se

destacaram apresentando maior aumento na velocidade de escoamento.

Nesta categoria de ângulo de divergência, o modelo D16 se destacou por possuir uma velocidade máxima de 8,3 m/s, porém isso ocorreu na região próxima a jusante do bico. O caso D13 trouxe bons resultados quando comparado com o também, porém, possui uma relação comprimento superior de L/D. A redução de L/D dos bocais D13 para D16 proporcionaram algumas interferências na magnitude da velocidade, com diferença na localização das velocidades máximas dentro do bocal. Este fato pode estar associado ao aumento da vorticidade resultante da mudança na geometria a jusante do bocal.

Fazendo uma análise de todos os modelos simulados, os modelos D2, D8, D16 e D13 são os melhores casos de todos os modelos analisados. Comparando esses modelos, o destaque para os resultados dos casos D2, D13 e D16, por possuírem uma maior área de uso com velocidade aumentada para aproveitamento eólico. Em um caso isolado, o modelo D18 apresenta uma pequena região onde possui a velocidade máxima, porém, suas velocidades para a área total atingem uma média aproximada em 7,1 m/s ao longo do raio do bocal, o que pode ser um bom resultado considerando sua menor relação de comprimento (L/D = 0,5) o que é uma vantagem quando comparado com os outros modelos pois pode favorecer a redução significativa de material de fabricação e também reduzir custos associados a ancoragem destas estruturas. Considerando a densidade do ar igual a 1,2 kg/m3 para a área circular com o diâmetro unitário, a potência eólica para uma turbina idealizada sem o bocal divergente instalado (calculado conforme Equação 1) e considerando ainda a velocidade do fluxo livre de 4 m/s seria de 30,2 W. A Tabela 2, mostra as potências máximas teóricas para os modelos D2, D8, D13, D16 e D18.

Modelos	Ângulo de divergência	L/D	Potencia Eólica Teórica (W)
Sem Bocal divergente	—	—	30,20
D2	5°	2,5	173,61
D8	10°	2,5	91,89
D13	15°	3	223,51
D16	15°	1,5	269,45
D18	15°	0,5	168,58

Tabela 2. Resultados para potência eólica teórica dos difusores que promoveram maior aumento de velocidade do vento.

De acordo com os valores obtidos neste trabalho, os resultados para o grupo de divergência de 5º aproximam-se dos analisados por (Ohya et al., 2008a) e (Matsushima et al., 2006a), que apresentam os melhores resultados para o bocal difusor próximo ao ângulo de 5° e 6°. No trabalho do (Chaker et al., 2012), são apresentadas discussão sobre

os resultados do bocal com o ângulo de divergência de 5° a 15°, neste trabalho os autores relatam que para ângulos maiores que 5° a aplicação de um flange na jusante do bocal tornou-se atraente. Com o flange, o melhor resultado encontrado por esses autores são 12° de ângulo de divergência. Portanto, o uso deste flange afeta na região de deslocamento onde ocorre o efeito de recirculação, para evitar que o fluido retorne após a saída do bocal, isso promove o ganho de velocidade e garante que seus grandes gradientes de velocidade possam ser deslocados para a entrada do bico, melhorando o aproveitamento da área da turbina do rotor.

No presente trabalho, todos os modelos avaliados mostraram a separação do escoamento do fluido na região interna do difusor próximo à parede. Este efeito é uma função da mudança abrupta da borda de ataque e seu ângulo de divergência. Os modelos de grupo do ângulo 10° e 15° possuem uma grande região de divisão de fluxo e isso interfere na área útil para a geração de energia, portanto, um estudo deste efeito também nas superfícies desse tipo de bocal buscando a suavização na entrada do difusor terá de ser considerado.

Mansour e Meskinkhoda (2014) em estudo utilizando a simulação computacional para predizer o comportamento do fluxo do vento em bocal com o ângulo difusor de 4° e relação L/D de 1,5 obtiveram resultados da razão de velocidade em torno de 1,3 também sem flange na saída do bocal. Para a relação angular de 5° e L/D de 1,5, a relação de velocidade observada no presente estudo foi próxima a 1,52. Esses autores verificaram que é possível aumentar a razão de velocidade de 1,3 para aproximadamente para 1,7 com a mesma relação de comprimento usando um tamanho adequado de flange na saída do bocal. Um aumento significativo na velocidade do vento foi obtido com a geometria do caso D16, onde a taxa da velocidade na região interna do bocal chegou a 2,07. Para este caso a relação entre a potência teórica em uma turbina sem difusor e uma turbina com difusor é de aproximadamente 8,86.

Abe et al., (2005), e Ohya et al., (2008) em análises numéricas e experimentais, observaram que a potência para turbinas com o difusor é quase 4 vezes maior para a razão da velocidade do 1,5 e 1,6. O aumento de potência observado com a utilização da turbina eólica no bico deve-se, entre outros fatores, ao incremento da vazão mássica ocasionado pela redução da pressão na saída da vazão. A diferença observada pode ser explicada no primeiro estágio como a variação da relação de velocidade. A diferença nessas relações de velocidade será observada quando a simulação ocorrer com a turbina eólica. Além disso, estima-se que para resultados experimentais as razões de velocidade sejam menores do que casos numéricos apresentadas neste trabalho.

3.1 Efeito do ângulo do difusor sobre o escoamento

Para avaliar o efeito do ângulo do difusor sobre a velocidade do escoamento do vento dentro do bocal, os casos foram agrupados mantendo-se constante as relações de

comprimento, ou seja, comparando-se o caso D1 com o D7 e D13, D2 com o D8 e D14, D3 com o D9 e D15, D4 com o D10 e D16, D5 com o D11 e D17, D6 com o D12 e D18.

De acordo com os resultados mostrados, conforme esperado observa-se que o ângulo de abertura do difusor tem efeito sobre os gradientes de velocidade. Para ângulo de 5° é possível observar gradientes de velocidade bem definidos com as máximas velocidades ocorrendo na região do centro do bocal em praticamente todas as relações de comprimento. São perfis de velocidade em desenvolvimento, ou seja, com variações observadas também na direção x. Comportamento semelhante é observado para ângulo de 10° e relações de comprimento de 3 e 2,5 e para ângulo de 15° com relação de comprimento de 3. Para os ângulos de abertura de 10 e 15°, observa-se uma maior espessura de escoamento separado na parte interna do bocal e consequentemente menor área de seção de escoamento do fluido quando comparado com os casos de ângulo de 5°, minimizando o aumento de velocidade em grande parte do bocal.

Apesar disso em algumas regiões para os casos com ângulo de 15° e relações de comprimento de 3 e de 1,5 observou-se aumento expressivo da velocidade do fluido em relação à velocidade de corrente livre.

3.2 Efeito do comprimento do bocal sobre a velocidade do escoamento do vento

Para avaliar o efeito do comprimento do bocal sobre a velocidade do escoamento, os gradientes de velocidade foram organizados mantendo-se o ângulo do difusor constante variando-se a relação de comprimento do bocal.

A diminuição da relação de comprimento do bocal causa efeito sobre o escoamento, independente do ângulo de abertura, porém quando o ângulo de abertura é de 10 e de 15° este efeito é somado com o efeito da pressão externa em torno do bocal. Com a diminuição do comprimento do bocal, aumenta-se o efeito dos gradientes de pressão externa sobre o escoamento interno ao bocal. Quanto menor a relação de comprimento, menor é a região com máximas velocidades, provavelmente devido ao efeito de recirculação do fluido na saída do bocal. Para minimizar os efeitos do escoamento externo sobre o interno, a colocação de um flange na saída do bocal tem sido testada com resultados interessantes (Abe *et al.*, 2005a), (Ohya *et al.*, 2008a), porem o uso deste tipo de dispositivo não foi objeto de avaliação neste trabalho.

4 I CONCLUSÃO

Para ângulo de 5° é possível observar gradientes de velocidade bem definidos com as máximas velocidades ocorrendo na região do centro do bocal em praticamente todas as relações de comprimento. Para os ângulos de abertura de 10 e 15°, observa-se uma maior espessura de escoamento separado na parte interna do bocal e consequentemente menor

área de seção de escoamento do fluido quando comparado com os casos de ângulo de 5°, minimizando o aumento de velocidade em grande parte do bocal.

A diminuição da relação de comprimento do bocal causa efeito sobre o escoamento, independente do ângulo de abertura, porém quando o ângulo de abertura é de 10 e de 15° este efeito é somado com o efeito da pressão externa em torno do bocal. Quanto menor a relação de comprimento, menor é a região com máximas velocidades, provavelmente devido ao efeito de recirculação do fluido na saída do bocal.

Os modelos D2, D8, D16 e D13 foram os que promoveram maior aumento de velocidade do vento dentro do bocal, porém com desvantagem em relação ao modelo D18 devido a possuírem maior relação de comprimento L/D o que na prática pode contribuir para um maior custo de aplicação destes modelos. O modelo D16 se destacou por apresentar uma razão de potência de 8,86, e uma relação entre a velocidade máxima e a velocidade de corrente livre igual a 2,07. Para futuros estudos, pretende-se ainda trabalhar com melhoramento das geometrias, suavizando as curvas do bocal criando-se um bordo de ataque que permita o alinhamento do escoamento para minimizar os efeitos de separação do fluido, encurtando-se também o comprimento do bocal utilizando espécies de flanges na saída do dispositivo para melhorar aproveitamento de área de seção de escoamento e evitar a recirculação do ar para dentro do bocal.

NOTA DE RESPONSABILIDADE

O autor(s) é (são) o único responsável pelo material incluído nesse artigo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte financeiro recebido da FAPEMAT (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso) para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Abe, K., Nishida, M., Sakurai, A., Ohya, Y., Kihara, H., Wada, E. and Sato, K., 2005. "**Experimental and numerical invertigations of flow flieds behind a small wind turbine with a flanged diffuser**". *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, Vol. 92, pp. 951–970.

Chaker, R., Kardous, M., Aloui, F. and Nasrallah, S.B., 2012. "**Relationship between open angle and aerodynamic performances of a dawt**". In *The Fouth International Renewable Energy COngress - IREC2012*. Sousse, Tunisia.

Foreman, K.M., Gilbert, B. and Oman, R.A., 1978. "**Diffuser augmentation of wind turbines**". *Solar Energy*, Vol. 20, pp. 305–311.

Hau, E., 2006. **Wind Turbines** – *Fundamentals, Technologies, Application and Economics*. Springer, Germany, 2nd edition.

Jafari, S.A.H. and Kosasih, B., 2014. “**Flow analysis of shrouded small wind turbine with a simple frustum diffuser with computationa fluid dynamics simulations**”. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, Vol. 125, pp. 102–110.

Matsushima, T., Takagi, S. and Muroyama, S., 2006. “**Characteristics of a highly efficient propeller type small wind turbine with a diffuser**”. *Renewable Energy*, Vol. 31, pp. 1343–1354.

Ohya, Y., Karasudani, T., Sakurai, A., Abe, K. and Inoue., M., 2008. “**Development of a shrouded wind turbine with a flanged diffuser**”. *Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 96, pp. 524–539.

Oman, R.A., Foreman, K.M. and Gilbert, B.L., 1975. “**A progress report on the diffuser augmented wind turbine.**” In *In Proceedings of the 3rd Biennial Conference and Workshop on Wind Energy Conversion Systems*. Washington, DC, USA.

Phillips, D.G., Richards, P.J. and Flay, R.G.J., 2002. “**Cfd modelling and the development of the diffuser augmented wind turbine**”. *Wind Struct*, Vol. 5, pp. 267–276.

Wang, W.X., Matsubara, T., Hu, H.F., Odahara, S., Nagai, T., Karasutani, T. and Ohya, Y., 2015. “**Experimental investigation into the influence of the flanged diffuser on the dynamic behavior of cfrp blade of a shrouded wind turbine**”. *Renewable Energy*, Vol. 78, pp. 386–397.

CAPÍTULO 14

FATORES DE EQUILÍBRIO E DOSES EM MINAS SUBTERRÂNEAS BRASILEIRAS

Data de aceite: 04/01/2021
Data de submissão: 08/12/2020

Laura Cardoso Takahashi
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
Belo Horizonte – Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/3177655691262101

Talita de Oliveira Santos
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte – Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/5267562662055432

Zildete Rocha
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
Belo Horizonte – Minas Gerais
http://lattes.cnpq.br/5324762511311519

Paulo Cruz
Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN (Sede)
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

Vandir de Azevedo Gouvea
Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN (Sede)
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro
http://lattes.cnpq.br/0686784224711808

Flávia Luiza Soares Borges
Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN (Sede)
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro
http://lattes.cnpq.br/0032946771655881

João Batista de Siqueira
Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN (Sede)
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

RESUMO: Rochas, solos e águas possuem radionuclídeos de ocorrência natural. Dentre estes, destaca-se o ^{238}U e ^{232}Th e seus produtos de decaimento. A distribuição de tais radioelementos em termos de concentração de atividade depende do tipo mineral e da origem. Dessa forma, todo processamento técnico de minerais resulta na liberação de radionuclídeos de meia-vida longa e curta, principalmente de radônio e sua progênie. Assim, é importante monitorar esse gás e seus produtos em minas subterrâneas a fim de avaliar o risco radiológico para os trabalhadores ocupacionalmente expostos. Inserido nesta preocupação que é global, medidas da concentração de radônio e da sua progênie, cálculo do fator de equilíbrio e estimativa de dose foram realizadas para 5 minas subterrâneas do Brasil. A concentração de radônio e da sua progênie foram determinadas utilizando os monitores contínuos AlphaGUARD PQ2000PRO (Saphymo) e DOSEman Pro (Sarad), respectivamente. O estado de equilíbrio entre o radônio e sua progênie foi avaliado. Baseado nestes dados, estimou-se a dose efetiva anual para os mineiros de acordo com a metodologia recomendada pela UNSCEAR, 2000. Assim, a Concentração de Radônio variou de 60 a 4964 $Bq.m^{-3}$ e a Concentração Equivalente de Equilíbrio se encontra faixa de 12

a 1174 Bq.m^{-3}. O valor médio dos fatores de equilíbrio obtido para as 8 minas foi de 0,4 (0,2 – 0,7). Com isso, os valores de dose efetiva para os trabalhadores das minas medeiam o seguinte intervalo: 0,2 a 21 mSv.a^{-1}, com valor médio de 9,8 mSv.a^{-1}. Portanto, os resultados mostram a relevância de avaliar continuamente e permanentemente o comportamento do radônio e da sua progênie e de adotar medidas de segurança contra a radiação natural no ambiente de minas subterrâneas.
PALAVRAS-CHAVE: Radônio, Fator de Equilíbrio e Dose.

EQUILIBRIUM FACTORS AND DOSES IN BRAZILIAN UNDERGROUND MINES

ABSTRACT: Rocks, soils and waters have naturally occurring radionuclides. Among these, the ^{238}U and ^{232}Th and its decay products stand out. The distribution of such radioelements in terms of activity concentration depends on the mineral type and origin. Thus, all technical processing of minerals results in the release of radionuclides of long and short half-life, mainly radon and its progeny. Thus, it is important to monitor this gas and its products in underground mines in order to assess the radiological risk for occupationally exposed workers. In this global concern, measurements of radon concentration and its progeny, calculation of the equilibrium factor and dose estimation were performed for 5 underground mines in Brazil. The radon concentration and its progeny were determined using the continuous monitors AlphaGUARD PQ2000PRO (Saphymo) and DOSEman Pro (Sarad), respectively. The state of equilibrium between radon and its progeny was evaluated. Based on these data, the annual effective dose was estimated for miners according to the methodology recommended by UNSCEAR, 2000. Thus, the Radon Concentration ranged from 60 to 4964 Bq.m^{-3} and the Equivalent Equilibrium Concentration ranged from 12 to 1174 Bq.m^{-3}. The mean value of the equilibrium factors obtained for the 8 mines was 0.4 (0.2 – 0.7). As a course, the effective dose values for mine workers measure the following range: 0.2 to 21 mSv.a^{-1}, with an average value of 9.8 mSv.a^{-1}. Therefore, the results show the relevance of continuously and permanently evaluating the behavior of radon and its progeny and of adopting safety measures against natural radiation in the environment of underground mines.
KEYWORDS: Radon, Equilibrium Factor, Dose.

1 I INTRODUÇÃO

Os radionuclídeos de ocorrência natural, urânio e tório seus produtos de decaimento, estão presentes em concentrações variadas nos materiais geológicos, especialmente em rochas e solos. Os níveis específicos desses radioelementos estão relacionados ao tipo e origem das rochas (UNSCEAR, 2000). Sabe-se que são litófilos e se concentram preferencialmente nas rochas ígneas ácidas, entre as quais se encontram o granito, e não nas básicas e ultrabásicas (BONOTTO E SILVEIRA, 2006). As rochas sedimentares, em geral, contêm níveis baixos de radioatividade natural. Entretanto, existem algumas exceções como os arenitos e as rochas fosfáticas que com frequência apresentam concentrações relativamente altas de radionuclídeos naturais (UNSCEAR, 2000).

Durante a abertura de minas subterrâneas, radionuclídeos de meia-vida longa e

curta provenientes das séries naturais do urânio e tório são liberados e concentram-se em tais ambientes tornando poluidores potenciais (OTHMAN *et al.,*1992). Dentre esses, destaca-se o radônio e sua progênie que são considerados a principal fonte de exposição à radiação em minas subterrâneas (ICRP, 1986; BALDIK *et al*., 2006).

No que tange à sua formação, o radônio é produzido pelo decaimento do rádio presente no corpo mineral e por recuo emana da matriz sólida dos materiais para os interstícios dos grãos preenchidos com ar ou água ou para os planos de fraturas das rochas (SANTOS, 2008). Logo após ser emanado, o gás tende a migrar-se por difusão molecular ou fluxo convectivo no sentido da superfície, onde a porção que não decaiu no percurso exala para o interior das galerias. Outro mecanismo de transporte do radônio para os ambientes das minas é a circulação de águas cuja concentração de radônio depende dos tipos de rochas, do volume relativo de água e da temperatura. A importância de cada processo de transferência relaciona-se com as fraturas tectônicas e geológicas da formação e do comportamento hidrogeológico do aquífero nas operações de mineração (ICRP, 1986).

O radônio, depois de exalado, migra ao longo das correntes de ventilação enquanto forma seus produtos de decaimento de meia-vida curta: ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi e ^{214}Po. O radônio e sua progênie no interior de minas subterrâneas é uma preocupação internacional (OTHMAN *et al., 1992;* BALDIK *et al., 2006;* FATHABADI, 2006; CILE, 2010; EVANGELISTA, 2002; PAGE E SMITH, 1992; ANJOS *et al,* 2010; THINOVA E ROVENSKA, 2011). A dose correspondente ao radônio é atribuída à sua progênie que quando inalada deposita-se no pulmão, especialmente no trato respiratório superior, e irradia o tecido pulmonar ao decair. Estudos epidemiológicos revelam uma forte correlação entre câncer de pulmão e exposição ao radônio. Assim, a Organização Mundial da Saúde classifica o radônio como um carcinógeno humano (ICRP, 2010). Diante disso, torna-se imprescindível avaliar a distribuição e a origem do radônio em minas subterrâneas visando mitigação e o atendimento aos padrões de proteção radiológica.

Diante disso, torna-se imprescindível avaliar a dose devida aos produtos de decaimento do radônio, a qual os mineiros estão expostos. Para estimar a dose, em geral, mede-se a concentração de radônio e assume-se um Fator de Equilíbrio (F) entre o radônio e sua progênie usualmente 0,4 ou 0,5. Entretanto, na realidade, as concentrações de radônio e sua progênie variam significantemente com o tempo e o espaço (YU *et al).* Alguns fatores contribuem para a variabilidade da concentração desses radionuclídeos, são eles: a formação geológica, o teor de urânio, tório e rádio, a taxa de exalação de radônio devido às diferenças de pressão, o grau de diluição, a porosidade, a umidade, o tipo de mina, a idade do ar dentro da mina e as condições de trabalho, particularmente o grau de ventilação (ICRP, 1986; BALDIK *et al, 2006;* FATHABADI, 2006; CILE, 2010). Contudo, a adoção de um valor para F pode não refletir as condições reais de uma mina (YU *et al*., 2008*).* Esse problema pode ser resolvido através de determinações experimentais de tal fator.

Neste contexto, o presente trabalho objetiva determinar o fator de equilíbrio

a fim de avaliar a dose em 8 minas subterrâneas no Brasil. As minas incluem extração de algamatolito, carvão, esmeralda, fluorita, turmalina, schelita e zinco. Este trabalho é resultado do “Projeto Radônio” realizado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear e os resultados obtidos contribuirão para as discussões necessárias à elaboração das normas ou posições regulatórias.

2 I METODOLOGIA

2.1 Concentração de Radônio no Ar

As medições da concentração de radônio no ar foram executadas com o detector Alpha*GUARD* PQ2000PRO (Saphymo GmbH). O Alpha*GUARD* opera segundo os princípios de uma câmara de ionização pulsada. A técnica consistiu em instalar o Alpha*GUARD* no ambiente interior das minas no modo difusão por aproximadamente 2 dias de acordo com o protocolo para medições de curto prazo (UNSCEAR, 1993). Neste trabalho, o equipamento foi programado para intervalos de amostragem de 10 minutos ou eventualmente de 60 minutos, atuando como um detector passivo contínuo. Os pontos amostrados consistiram de frentes de trabalho, galerias e locais onde os mineiros permaneciam a maior parte do tempo e o equipamento encontrava-se seguro. Além da concentração de radônio, informações de data, hora, temperatura, umidade relativa e pressão barométrica foram também registradas. O limite de detecção do Alpha*GUARD* é 2 $Bq.m^{-3}$. Os dados foram obtidos e tratados com o software DataExpert (Saphymo GmbH, 2010).

2.2 Progênie do Radônio no Ar

As análises por espectrometria alfa, para determinação da progênie do radônio, foram realizadas utilizando o detector DOSE*man* Pro (SARAD). Grandezas e unidades especiais são usadas para caracterizar a concentração da progênie do radônio no ar como: Concentração de Energia Alfa Potencial (CEAP) e Concentração Equivalente de Equilíbrio (CEE). A CEAP é definida como sendo a soma das energias alfa potenciais emitidas pela progênie do radônio por unidade de volume de ar. Essa grandeza pode ser expressa em termos da CEE, que corresponde à concentração de radônio em equilíbrio radioativo com sua progênie de meia-vida curta, que liberaria a mesma CEAP que a mistura real não equilibrada (ICRP, 1993). Neste equipamento, amostras de particulados de aerossóis são coletadas, por sucção de ar, em um filtro, que é analisado continuamente por um detector de silício com respeito à energia de decaimento alfa. Utilizaram-se intervalos de amostragem de 60 minutos.

2.3 Fator de Equilíbrio

Para a determinação do fator de equilíbrio, o Alpha*GUARD* foi instalado juntamente

com o DOSEman nas minas subterrâneas estudadas. Dessa forma o fator de equilíbrio (F) foi calculado através da seguinte equação (UNSCEAR, 2000): $F=CEE/C_o$. Onde C_o é a concentração de radônio no ar. O F caracteriza o desequilíbrio entre radônio e sua progênie em termos da energia alfa potencial. Este fator tem sido amplamente estudado em condições distintas para avaliar a dose que as pessoas estão expostas para uma dada concentração de radônio (CIGNA, 2005). Normalmente, quando não se tem informação ou resultados experimentais, recomendam-se a adoção de um fator de equilíbrio médio de 0,4 (UNSCEAR, 2000; ICRP, 1993).

2.4 Dose efetiva anual

A dose efetiva anual (H), por sua vez, foi estimada de acordo com a metodologia descrita no relatório UNSCEAR 2000, na qual: $H = C_o.F.T.k$. Onde T é o tempo de permanência em locais de trabalho, T= 2000 $h.a^{-1}$ (ICRP, 1993), e k é o fator de conversão, k= 9 nSv $(Bq.h.m^3)^{-1}$ (UNSCEAR, 2000)

3 I RESULTADOS

Os valores médios da Concentração de Radônio (C_{Rn}), da Concentração Equivalente de Equilíbrio (CEE), do Fator de Equilíbrio (F) e da Dose Efetiva Anual devido à progênie do radônio (H) para as 8 minas subterrâneas brasileiras são apresentadas na Tabela 1. Como pode ser observado na Tabela 1, obteve-se valores médios C_{Rn} e CEE na faixa de 60 a 4964 $Bq.m^{-3}$ e de 12 a 1174 $Bq.m^{-3}$, respectivamente. Os dados encontrados mostram que as concentrações de radônio e da sua progênie variam consideralvelmente de mina para mina. Isso decorre da diferença de atividade específica dos radionuclídeos naturais precursores do radônio nas rochas e das diferentes condições de atividades operacionais das minas. Neste caso, destaca-se como principal fator a ventilação que dispõe de capacidade variada para cada mina estudada (FATHABADI, 2006). Baseado nesses dados, verifica-se que em algumas minas a C_{Rn} excedeu o nível de referência de 1000 $Bq.m^{-3}$ recomendado pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP, 2010) e pela Comissão Nacional da Energia Nuclear (CNEN, 2005) para locais de trabalho. Em três minas, concentrações médias de radônio elevadas estão presentes, são elas: 3889 $Bq.m^{-3}$ na Mina A na condição "parada", 4964 $Bq.m^{-3}$ na Mina D e 1142 $Bq.m^{-3}$ na mina E.

O F calculado para as 5 minas variou de 0,2 – 0,7 (Tabela 1). Isso demonstra que uma ampla faixa de valores de F ocorre nas minas, o que indica que adotar um valor médio para tal fator a fim de avaliar dose para casos individuais pode proporcionar grandes erros como mencionado em (FATHABADI, 2006). Nota-se que valores de equilíbrio diferentes foram encontrados para a Mina A na condição "em operação" e na condição "parada", os quais são: 0,3 e 0,5 respectivamente. Esse fato pode ser explicado visto que atividades recorrentes de mineração como detonação, por exemplo, geram grandes quantidades de aerossóis e de liberação de radônio no interior das galerias. Além disso, C_{Rn} diferentes

também foram observadas para tal mina na condição “parada” e na condição “em operação”. Estas discrepâncias estão claramente influenciadas também pela ventilação ativa na mina em operação.

No que se refere à dose efetiva para os trabalhadores das minas, os valores medeiam o seguinte intervalo: 0,2 a 21 $mSv.a^{-1}$ de acordo com a Tabela 1. O valor de referência de 1000 $Bq.m^{-3}$ recomendado tanto pela CNEN (CNEN, 2005), como pela ICRP (ICRP, 2010) para locais de trabalho corresponde a uma dose efetiva anual de 7 mSv, considerando um fator de equilíbrio de 0,4 e 2000 horas de trabalho anual (metodologia UNSCEAR, 2000). Com base nisso, verifica-se na Tabela 1 que em duas minas (mina A na condição “parada” e mina D), a dose efetiva referente ao radônio está acima desse valor de referência. Além disso, a dose efetiva devido ao radônio para os mineiros dessas minas excede o limite de 20 $mSv.a^{-1}$ aplicado para indivíduo ocupacionalmente exposto no Brasil (CNEN, 2014). Isso impõe a necessidade de controle de doses ou de aperfeiçoamento dos sistemas de ventilação.

Mina	Condição da mina	C_{Rn} ($Bq.m^{-3}$) [média (max-min)][a]	CEE ($Bq.m^{-3}$) [média (max-min)][a]	F	H ($mSv.a^{-1}$)
Mina A	Em Operação	3889 (528-4128)	1174 (43-1317)	0,3	21
	Parada[b]	714 (299-2088)	377 (42-1581)	0,5	7
Mina B	Em Operação	949 (584-1264)	259 (123-444)	0,3	5
Mina C	Em Operação	113 (38-192)	76 (26-144)	0,7	1
Mina D	Em Operação	4964 (1392-10880)	1148 (209-2765)	0,2	21
Mina E	Parada[b]	1442 (792-2288)	228 (96-357)	0,2	4
Mina F	Em Operação	327 (65-617)	141 (19-279)	0,4	3
Mina G	Em Operação	326 (272 – 380)	213 (179 – 249)	0,7	4
Mina H	Em Operação	60 (39 – 99)	12 (3 – 36)	0,2	0,2

[a] medidas contínuas.

[b] Presença de atividades no interior da mina; sistema de ventilação desligado.

Tabela 1: Concentração de Radônio, Concentração Equivalente de Equlíbrio, Fator de Equelíbrio e Dose Efetiva Anual devido à progênie do radônio para 8 minas subterrâneas no Brasil.

4 I CONCLUSÃO

De acordo com os resultados mostrados e discutidos acima, somente em três minas subterrâneas (Mina A na condição “parada”, Mina D e Mina E), as concentrações de radônio obtidas excederam os limites recomendados pela ICRP. Diante disso, ações remediadoras devem ser adotadas em tais minas como, por exemplo, ventilação mecânica mais intensa observando o princípio de otimização de doses estabelecido pela CNEN (CNEN, 2014) e/

ou escalas de trabalhos adequadas com o objetivo de reduzir o tempo de exposição dos trabalhadores. Os fatores de equilíbrio obtidos variaram amplamente de mina para mina. O valor médio de 0,4 foi determinado, com um mínimo de 0,2 e um máximo de 0,7. Dessa forma, ressalta-se que a utilização de um fator médio a fim de determinar dose não é recomendada. Embora o valor médio encontrado esteja coerente com o adotado pela ICRP e pela UNSCEAR. A dose para os trabalhadores das minas brasileiras abrangeu o intervalo de 0,2 a 21 $mSv.a^{-1}$. Consequentemente, na Mina A parada e na Mina D constatou-se que os valores de dose ultrapassaram o limite obtido com a metodologia da UNSCEAR e o limite para indivíduos ocupacionalmente expostos no Brasil, o que reforça e esclarece a necessidade de mitigação. Contudo, existem diversas minas subterrâneas no Brasil que ainda serão investigadas. Trabalhos futuros serão realizados para melhor compreensão do comportamento do radônio no ambiente subterrâneo. É importante caracterizar as fontes de radônio de cada mina, entender a circulação do radônio e de sua progênie dentro desses ambientes e avaliar o risco correspondente.

REFERÊNCIAS

ANJOS, R. M. *et al.* **Occupational Exposure to Radon and Natural Gamma Radiation in the La Carolina, a Former Gold Mine in San Luis Province, Argentina**. Journal of Environmental Radioactivity, v.101, p.153-158, 2010.

BALDIK, R. R. *et al.* **Radon Concentration Measurement in the Amasra Coal Mine, Turkey**. Radiation Protection Dosimetry, v. 118, p. 122-125, 2006.

BONOTTO, D. M.; SILVEIRA, E. G. **Geoquímica do Urânio Aplicada a Águas Minerais**. 1. ed. São Paulo: Ed UNESP, 2006.

CIGNA, A. A. **Radon in Caves**. Internacional Jounal of Speleology. v. 34, p. 1-18, 2005.

CILE, S. **Radon Concentration in Three Underground Lignite Mines in Turkey**, Radiation Protection Dosimetry**,** v. 138, p. 78-82, 2010.

CNEN - Comissão Nacional da Energia Nuclear, **Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Instalações Mínero-Industriais**, CNEN NN-4.01, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Diretrizes básicas de proteção radiológica.** Norma CNEN-NN-3.01, Rio de Janeiro, Brasil, 2014.

EVANGELISTA, H. **Radon Dynamics and Reduction in an Underground Mine in Brazil.** Implications For Workers' Exposure. Radiation Protection Dosimetry, v. 98, p. 235-238, 2002.

FATHABADI, N. **Miners' Exposure to Radon and Its Decay Products in Some Iranian Non-Uranium Underground Mines**, Radiation Protection Dosimetry**,** v. 118, p. 111-116, 2006.

ICRP – International Commission on Radiological Protection, **Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon**, Annals of ICRP publication 115, v. 40, Canadá, Estados Unidos, 2010.

ICRP – International Commission of Radiological Protection, **Protection against Radon-222 at Home and at Work**, Annals of ICRP publication 65, v. 23, Canadá, Estados Unidos, 1993.

ICRP – International Commission on Radiological Protection. **Radiation Protection of Workers in Mines**. Annals of ICRP publication 47, v. 16, Canadá, Estados Unidos, 1986.

OTHMAN, I. *et al*. **Radiation Exposure Levels in Phosphate Mining Activities**. Radiation Protection Dosimetry, v. 45, p. 197-201, 1992.

PAGE, D.; SMITH, D. M. **The Distribution of Radon and Its Decay Products in Some UK Coal Mines**. Radiation Protection Dosimetry, v. 45, p. 163- 66, 1992.

SANTOS, C. E. L. **Determinação dos Processos de Enriquecimento e das Concentrações de Radônio em Minas Subterrâneas de Fluorita e Carvão do Estado de Santa Catarina: Critérios para Avaliação dos Riscos Radiológicos**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

Saphymo GmbH, **Portable Radon Monitor – AlphaGuard**, User Manual, Alemanha, 2010.

THINOVA, L.; ROVENSKA, K. **Radon Dose Calculation Methodology for Underground Workers in the Czech Republic**. Radiation Protection Dosimetry. v. 145, p. 233-237, 2011.

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. **Sources and Effects of Ionizing Radiation**. Report to General Assembly, with Scientific, Annexes, Viena: UNSCEAR, 2000. 74 p.

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation, **Sources and Effects of Ionizing Radiation**, Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, Nova York, 1993.

YU, K. N. *et al.* **Equilibrium Factor Determination Using SSNTDs**. Radiation Measurements. v. 43, p. 357-363, 2008.

CAPÍTULO 15

PHYSICAL DISTRIBUTION AND RADIOLOGICAL CONTRAST OF CEMENTS IMPLANTED *IN VITRO* VERTEBRAE

Data de aceite: 04/01/2021
Data de submissão: 05/10/2020

Carlos Julio Montaño Valencia
Universidade Federal de Minas Gerais
Campus Pampulha
Belo Horizonte – MG, Brasil
https://orcid.org/0000-0001-7125-9982

Sonia Seger Pereira Mercedes
Universidade Federal de Minas Gerais
Campus Pampulha
Belo Horizonte – MG, Brasil
https://orcid.org/0000-0003-4801-0710

Luciana Batista Nogueira
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte – MG, Brasil
https://orcid.org/0000-0003-1813-9898

Tarcísio Passos Ribeiro de Campos
Universidade Federal de Minas Gerais
Campus Pampulha
Belo Horizonte – MG, Brasil
https://orcid.org/0000-0003-1476-3474

ABSTRACT: Vertebroplasty and Kyphoplasty have been studied for several years as percutaneous procedures for treatment of bone fractures, osteoporosis and other abnormalities in the skeletal system. Currently, these procedures have already been established as effective minimally invasive surgical procedures very promising in orthopedics and traumatology. Those procedures are guided by fluoroscopy using radiopaque substances such as barium sulfate ($BaSO_4$). The improvements of the radiological contrast at the image is still necessary. In present study, we addressed the benefits of Hydroxyapatite (HAp) as radiopaque element in the bone cement and the possibility of removing barium sulfate to reduce the toxicity of the material.
KEYWORDS: Bone cement, Hydroxyapatite, Radiological contrast.

DISTRIBUIÇÃO FÍSICA E CONTRASTE RADIOLÓGICO DE CIMENTOS IMPLANTADOS NAS VÉRTEBRAS *IN VITRO*

RESUMO: La Vertebroplastia e Cifoplastia foram estudadas por vários anos como procedimentos percutâneos para tratamentos de fraturas ósseas, osteoporose e outras anomalias no sistema esquelético. Atualmente, esses procedimentos já tem sido estabelecidos como procedimentos cirúrgicos minimamente invasivos muito promissórios na ortopedia e traumatologia. Aqueles procedimentos estão guiados por meio da fluoroscopia usando substâncias radiopacas tais como sulfato de Bário $BaSO_4$. As melhoras do contraste radiológico na imagem é ainda necessário. No presente estudo, encaminhamos os benefícios do Hidroxiapatita (HAp) como o elemento radiopaco no cimento ósseo e a possibilidade da remoção do sulfato de Bário para reduzir a toxicidade do material.
PALAVRAS-CHAVE: Cimento ósseo, Hidroxiapatita, Contraste radiológico.

1 | INTRODUCTION

A procedure was developed and first described in France in 1987 known as Vertebroplasty used as a percutaneous technique by means of an acrylic injected with a syringe into the fractured vertebra body. In the surgical context to this procedure, it is a minimally invasive technique for ambulatory nature. The technique was initially implemented for the treatment of vertebral hemangiomas and later was applied for decompression of fractures of osteolytic metastases and osteoporosis. Another percutaneous technique was introduced with use of PMMA (polymethylmethacrylate with chemical nomenclature $[CH_2C(CH_3)(CO_2CH_3)]_n$) as bone cement to join the fractured bone parts. In addition, it has been inserted into a balloon that it is inflated in order to restore the anatomical structure of the vertebra. Such percutaneous technique is known as Kyphoplasty. One of the major problems of the percutaneous techniques is the possible extravasations of cement outside the bone region where it aims to be located. One solution to this undesirable event is the decompression of the vertebra by re-intervention by surgery (CHEN; LUO; ZHANG; NALAJALA *et al.*, 2013; GERSZTEN, 2007; HENDRICKSON; SHEHATA; KIRCHNER, 1976). These percutaneous procedures are complementary to therapeutic treatments within tumor control (KANEKO; SEHGAL; SKINNER; AL-GHAZI *et al.*, 2010). In most cases patients have advanced metastatic disease stage and the radiation therapy is palliative. Some studies have proposed IMRT (Intensity Modulated Radiotherapy) or IGRT (Image-Guided Radiotherapy) as therapeutic treatments with less neurological impact on the marrow. Although demyelinating phenomenon of nerve tissues may occur since such structures are highly radiosensitive; it presents in lesser extension with IMRT and IGRT (EMAMI; LYMAN; BROWN; COLA *et al.*, 1991; RYU; FANG YIN; ROCK; ZHU *et al.*, 2003; RYU; JIN; JIN; ROCK *et al.*, 2007; YAMADA; BILSKY; LOVELOCK; VENKATRAMAN *et al.*, 2008). At 2006, other options have been proposed in the field of radiation therapy based on the idealization of radioactive bone cement by our research group (MONTAÑO; CAMPOS; LEMOS; YOSHIDA *et al.*, 2020). Such radioactive cement was addressed to treat bone metastases dealing with the elimination of the clonogenic properties of the cancer cells together with the reinforcement of the bone structure. At 2009, it has been followed by the use of Quadramet (^{153}Sm-EDTMP) administered percutaneously in the affected region by means of protocol Khyphoplasty (Kyphon) (ASHAMALLA; CARDOSO; MACEDON; GUIRGUIS *et al.*, 2009).

There are a number of biophosphonates considered bioceramics which have already been studied. Among those that can highlight is the Hydroxyapatite (HAp with chemical nomenclature $[Ca_5(PO_4)_3(OH)]$), contains 69% of its composition equivalent to naturally bone and the 20% of collagen matrices fibers as connective tissue. Therefore, since HAp is part of the nature of the bone, it has already been proposed to be mixed with the PMMA reaching optimal adhesion's response of osteoblasts in the biomaterial (DOROZHKIN,

2009; 2010; HIRSCH; ROSENSTEIN; MEDICH; MARTEL *et al.*, 2009).

Considering the cement implant, the improvement of the radiological contrast at the image is still necessary. In present study, we addressed the benefits of HAp as radiopaque element in the bone cement and the possibility of removing barium sulfate to reduce the toxicity of the material. Radiological images from X-ray and Ultrasonography are evaluated in cement implants in vertebrae.

2 I METHODS

2.1 *In vitro* anatomical sample preparation

The separation of a section of a pig vertebral column, in a special cut provided by a meat market, was performed *in vitro* embed in an equivalent muscle tissue, maintaining anatomically its structure without considering distinct anthropometric characteristics of the model. The structure was immediately cooled to -18 C to reduce the effect of decomposition.

2.2 Synthesis of the composite

The composite was prepared in cold based on PMMA, HAp, barium sulfate so that the dilution held excess water as dissolvent. The solution in deionized water was done primarily to modulate the phases of the acrylic in order to increase the polymerization time by mean of stirring of the mixture. Both PMMA as the instruments in the mixture were also cooled due to polymerizing effect that is proportional to the temperature increase. The HAp was synthesized by the sol-gel method according to (LEGEROS; LIN; ROHANIZADEH; MIJARES *et al.*, 2003; MONTAÑO; CAMPOS; LEMOS; YOSHIDA *et al.*, 2020) after to mix the components the solution was left for 24 hours in a closed beaker to force the precipitate's product, the nucleation and formation of colloids. The compounds used for the synthesis of HAp were 3.937 g of $Ca(NO_3)_2 \cdot H_2O$, 0.69 mL of H_3PO_4, 2 mL of $CH_3(OH)$ and water as solvent in excess. Subsequently the sample was heated in an oven ramped from room temperature to 100 °C for 22 hours as follows: from room temperature to 80 ° C at a rate of 0.306 $°C.min^{-1}$, then an isotherm 360 minutes, subsequently to 100 °C a ramp at the rate of 0.333 $°C \cdot min^{-1}$ and finally an isotherm 720 minutes. The next day, the sample was heated from room temperature to 720 °C at a rate of 6 $°C \cdot min^{-1}$, then 60 min isotherm. The HAp powder is macerated and mixed in different proportions with the PMMA (Metil Etil Metacrilate ($C_5H_8O_2$)) to produce 0.5 g of bone cement in a binary system (1-x)PMMA-xHAp, where [x] is the concentration of HAp in the mixture as shown in Table 1. The concentrations (1) and (2) were presented in this preparation only.

Nº	Concentration [x]	PMMA ($C_5H_8O_2$)	HAp($Ca_5(PO_4)_3(OH)$)
1	0.00000	0.50000	0.00000
2	0.50000	0.08310	0.41690

Table 1. Concentrations [x] bone cement to produce 0.5 g of the binary system (1- x)PMMA-xHAp.

2.3 Cement injection

The cement was injected into vertebral models designed in the laboratory drilling the vertebral body with a bent 45° to the midsagittal plane simulating drilling needle Vertebroplasty kit.

2.4 Radiological contrast

The X-ray machine used was the BR 100, a transportable model with performance 100 mA and 90 kV. The BR 100 is composed with an X-ray tube sealed and linked to a telescope that is connected to the apparatus column than have an arm which allows depending on the movement necessary adjustment of the distance between tube and film that is studied radiographically. It also has a command table with the control elements necessary for desired voltage and intensity. According to the radiological techniques, exposure time of 0.50 s, current of 70 mA, voltage of 60 kV and DFF of 85 cm were applied in thoracic vertebrae. After the development processing, films were digitized to study the radiological contrast in each of the vertebrae that was implanted the bone cement. Contrast was evaluated in different points.

2.5 Ultrasonography images

The GE Healthcare ultrasound equipment LOGIQe REF. 5199704 made in China in 2008 was used for image guided in the Vertebroplasty simulating procedure with the pig vertebral column. One 12L-RS probe was used in B-cine mode with a signal of 12 MHz and with a maximum depth of 7 cm for the configuration abdominal type examination in addition before to the application of the contact gel for pig column model in vitro. In the second image signal was 10 MHz and the depth of field of ultrasound was defined to 4 cm.

3 I RESULTS

The images of the phantom taken with radiology team have good contrast even though the parts are embedded in a tissue simulating equivalent soft tissue. According to Fig. 1(a), an anterior-posterior frontal shot was made, in which the X-ray beam had to overcome apart phantom also the styrofoam lid container 2 cm that contains. The polystyrene and the surrounding soft equivalent tissue have a lower attenuation coefficient than to bone tissues.

In Fig. 1 (b), a side-sagittal image was shooting. The x- rays had to overcome two lids that are part of styrofoam container with 2 cm every one, maintaining good contrast. In Fig1(c) and Fig. 1(d), images provided by ultrasound equipment, simulating the lumbar puncture protocol, are presented. A good contrast of the spinous processes, transverse and upper and lower joints, is observed. Just as the needle is guided by the spinous processes in the lumbar puncture for patients in gestation, it is possible to do the same in Vertebroplasty, with the difficulty of invading the field temporarily while the needle is inserted into the body of the vertebra. However, to control the flow of cement during insertion fluoroscopy is necessary.

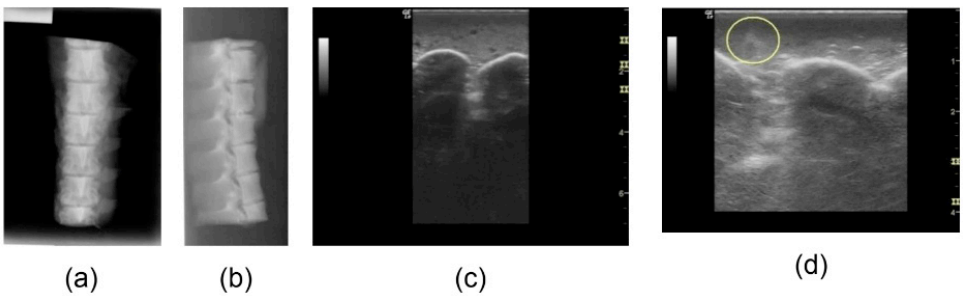


Figure 1. X-ray and ultrasound images in vitro from vertebrae model is presented. In (a) and (b), frontal and sagittal radiological images are observed, respectively. In (c) and (d), there are ultrasound images; and, (d), a dynamic anomaly shows the insertion of the needle.

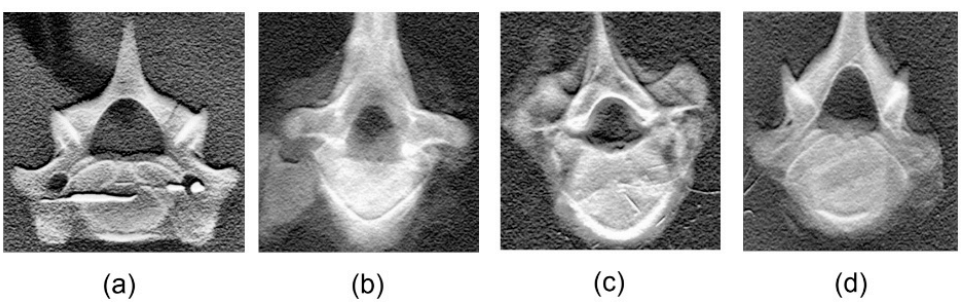


Figure 2. Radiological images of four vertebral models. In (a) the vertebrae has molten lead. (b) PMMA injected. (c) PMMA + 10% $BaSO_4$ were injected. (d) x = 0.5 of the bone cement.

The following images as shown in Fig. 2 were taken from four vertebral bodies. In Fig. 2(a), one of them is observed with an inlay of a small mass of lead in the linear shape that will be used as reference point to evaluate the radiological contrast of the other three images. In Fig. 2(b), a vertebral body with an abnormality is observed corresponding to the perforation made to the vertebral body in which PMMA was injected. In Fig. 2(c), it was injected PMMA with 10% $BaSO_4$ and no abnormalities indicating that the cement was largely diffused in bone piece. In Fig. 2(d), polymerizing bone cement (1-x) PMMA-xHAp

with a concentration [x], x = 0.5 HAp in the mix was injected. As in Fig. 2(c) the cement is well spread in the bone piece and with better contrasts which identifiable in the area of the perforation of the vertebral body. An interesting aspect was that, despite $BaSO_4$ suppress in the bone cement, this still shows a good radiological contrast.

The physical distribution of this biomaterial was observed through X-ray images after application of the cements in liquid phase. It has been spread 5 up to 20 mm into the vertebrae from the inject point. It demonstrated that such biomaterial can be incorporated adequately and a large amount of the cold cement can be well distributed in the vertebral structure. The spatial distribution of cement in regions III and IV of each vertebra is optimal intervened in the spongy tissue. Radiological response of the cement was demonstrated on the radiological films.

4 I CONCLUSIONS

The spatial distribution of this material was observed through radiological images obtained after cement application showing the possibility of incorporating adequate amount of cement mass in the bone structure. It guaranteed the radiopaque nature of the bone cement. After cross cutting in some of the vertebrae, it was observed that the compound was solidified after being injected. Also, the spreading of the material in bone tissue was larger in the spongy bone tissue. A pair of puncture on the lumbar vertebrae can reduce the unwanted effect of extravasation due to the *in situ* decompression.

Since these compounds are used for the purpose of be absorbed and reabsorbed bone tissues, it is very important to reduce toxicity suppressing as much as possible the substances which are not completely biocompatible with organic tissues, as radiopaque compounds used in medical imaging, without affecting significantly their action. All biological effects that may be induced by the excess of HAp must be considered in order to calculate the proportions of HAp in the cement. In addition, the desirable porosity for migration of bone cells is required. Also, porosity is essential to spread the cement and facilitate the join of fractured pieces, as the case is required.

Percutaneous column procedures guided by fluoroscopy have been already proposed. One of the major problems in radioactive cements is directly related to vertebrae dose because dose must be planned with high precision to avoid negative responses subsequent to radiotherapeutic treatments. In the Ultrasound image the commercial teams gradually have improved their services and today are already possible to reconstruct live images in 3D which is known as the 4D mode. Thus, fluoroscopic image remains needed to avoid extravasation of the cement outside the vertebral body.

ACKNOWLEDGEMENT

The researchers appreciate all the contributions related with to anatomical knowledge and surgical protocol delivered by the MD. Olga Lucia Maquilon Moreno from Clínica Rey David - COSMITET LTDA. IPS in Cali-Colombia (Health Care Provider). We also thank CAPES and CNPq for funding this project.

CONFLICT OF INTEREST DISCLOSURE

The authors declare no conflict of interest in this work.

REFERENCES

ASHAMALLA, H.; CARDOSO, E.; MACEDON, M.; GUIRGUIS, A. *et al.* Phase I trial of vertebral intracavitary cement and samarium (VICS): novel technique for treatment of painful vertebral metastasis. **International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics**, 75, n. 3, p. 836-842, 2009.

CHEN, G.; LUO, Z.-P.; ZHANG, H.; NALAJALA, B. *et al.* Percutaneous kyphoplasty in the treatment of painful osteoblastic metastatic spinal lesions. **Journal of Clinical Neuroscience**, 20, n. 7, p. 948-950, 2013.

DOROZHKIN, S. V. Calcium orthophosphates in nature, biology and medicine. **Materials**, 2, n. 2, p. 399-498, 2009.

DOROZHKIN, S. V. Bioceramics of calcium orthophosphates. **Biomaterials**, 31, n. 7, p. 1465-1485, 2010.

EMAMI, B.; LYMAN, J.; BROWN, A.; COLA, L. *et al.* Tolerance of normal tissue to therapeutic irradiation. **International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics**, 21, n. 1, p. 109-122, 1991.

GERSZTEN, P. C. The role of minimally invasive techniques in the management of spine tumors: percutaneous bone cement augmentation, radiosurgery, and microendoscopic approaches. **Orthopedic Clinics of North America**, 38, n. 3, p. 441-450, 2007.

HENDRICKSON, F. R.; SHEHATA, W. M.; KIRCHNER, A. B. Radiation therapy for osseous metastasis. **International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics**, 1, n. 3-4, p. 275-278, 1976.

HIRSCH, A. E.; ROSENSTEIN, B. S.; MEDICH, D. C.; MARTEL, C. B. *et al.* Polymethylmethacrylate and radioisotopes in vertebral augmentation: an explanation of underlying principles. **Pain Physician**, 12, n. 5, p. 887-891, 2009.

KANEKO, T.; SEHGAL, V.; SKINNER, H.; AL-GHAZI, M. *et al.* Evaluation of a radiation transport modeling method for radioactive bone cement. **Physics in Medicine & Biology**, 55, n. 9, p. 2451, 2010.

LEGEROS, R.; LIN, S.; ROHANIZADEH, R.; MIJARES, D. *et al.* Biphasic calcium phosphate bioceramics: preparation, properties and applications. **Journal of materials science: Materials in Medicine**, 14, n. 3, p. 201-209, 2003.

MONTAÑO, C.; CAMPOS, T.; LEMOS, B.; YOSHIDA, M. *et al.* Effects of hydroxyapatite on PMMA-HAp cement for biomedical applications. **Bio-medical materials and engineering**, n. Preprint, p. 1-11, 2020.

RYU, S.; FANG YIN, F.; ROCK, J.; ZHU, J. *et al.* Image-guided and intensity-modulated radiosurgery for patients with spinal metastasis. **Cancer: Interdisciplinary International Journal of the American Cancer Society**, 97, n. 8, p. 2013-2018, 2003.

RYU, S.; JIN, J. Y.; JIN, R.; ROCK, J. *et al.* Partial volume tolerance of the spinal cord and complications of single-dose radiosurgery. **Cancer: Interdisciplinary International Journal of the American Cancer Society**, 109, n. 3, p. 628-636, 2007.

YAMADA, Y.; BILSKY, M. H.; LOVELOCK, D. M.; VENKATRAMAN, E. S. *et al.* High-dose, single-fraction image-guided intensity-modulated radiotherapy for metastatic spinal lesions. **International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics**, 71, n. 2, p. 484-490, 2008.

CAPÍTULO 16

PROJETO DE UM PADRÃO UNIVERSAL DE BAIXO CUSTO PARA CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS E INSPEÇÃO DE SOLDAGEM

Data de aceite: 04/01/2021
Data de submissão: 30/09/2020

Monalisa Pereira Silva
Centro Universitário Una
Uberlândia – MG
http://lattes.cnpq.br/3888719768059144

Maksym Ziberov
Universidade de Brasília
Brasília – DF
http://lattes.cnpq.br/3745791869688184

RESUMO: Para garantir a confiabilidade dos processos de inspeção de soldagem, é necessário que os equipamentos estejam devidamente calibrados. O objetivo deste trabalho é apresentar o projeto de uma peça multiuso para auxiliar inspetores de solda. O projeto unifica os principais defeitos em soldagem com as principais funcionalidades dos calibres de solda, contando também com um calibre de cortes e gabaritos para eletrodos e arames, além de possibilitar a caracterização visual de materiais.

PALAVRAS-CHAVE: Soldagem, Calibração, Calibre Universal, Inspeção de Solda.

DESIGN OF A LOW COST UNIVERSAL STANDARD FOR EQUIPMENT CALIBRATION AND WELDING INSPECTION

ABSTRACT: To guarantee the reliability of the welding inspection processes, it is necessary that the equipment is properly calibrated. The objective of this work is to present the design of a multipurpose part to assist welding inspectors. The project unifies the main defects in welding with the main functionalities of the welding gauges, also counting on a gauge of cuts and electrodes and wires, in addition to enabling the visual characterization of materials.

ABSTRACT: Welding, Calibration, Universal Gauge, Weld Inspection.

1 I INTRODUÇÃO

Os processos de soldagem são amplamente utilizados na indústria tendo em vista que oferecem união permanente entre elementos de diversas formas, através de diferentes fontes de energia que possibilitam a variação de parâmetros nos processos de acordo com a necessidade de cada projeto. É possível que ocorram defeitos nas juntas soldadas, causados na maioria das vezes pela escolha incorreta dos parâmetros de soldagem (CHIAVERINI, 1986; MODENESI, MARQUES, 2000; KIMINAMI et al., 2013). A fim de evitar que estes defeitos causem ruptura ou inutilização das peças ou estruturas produzidas, é importante que haja inspeção de solda.

A inspeção tem a finalidade de localizar os defeitos e garantir que seja mantida a qualidade nos processos de fabricação, e pode ser realizada visualmente com o auxílio de instrumentos como calibres de solda,

espelhos e câmeras, e/ou com a utilização de equipamentos eletrônicos, como aparelhos de ultrassom, radiografia, e até mesmo geradores de campo elétrico em ensaios com partículas magnéticas (DE SOUZA et al., 2007).

Nas técnicas de inspeção visual, o calibre de solda é muito utilizado pois auxilia o inspetor em diversas medições, tais como aberturas de chanfros, comprimento e reforço de cordões, espessuras de chapas, ângulos de bisel, profundidade de chanfros, altura de garganta e perna de solda, entre outros (INSIZE, 2013; CARBOGRAFITE, 2018). Existem diversos modelos de calibres disponíveis no mercado, alguns com função única como o medidor de perna e garganta em superfícies ortogonais (Figura 1a). Outros equipamentos conhecidos como calibres universais, que unificam o maior número de funções como medição de ângulos, espessuras, garganta e perna, profundidade de aberturas e comprimento de cordões (Figura 1b).

Quanto aos equipamentos utilizados nas demais técnicas de inspeção, é necessário que estejam bem calibrados, pois o funcionamento correto destes equipamentos garante que os defeitos sejam encontrados, sem que haja erro em leituras, o que poderia apontar defeitos inexistentes ou deixar de apontar defeitos existentes. Aconselha-se que a calibração destes instrumentos seja realizada a cada seis meses por empresa confiável e de acordo com a norma ISO 9000:2000 (GIMENES; URTADO, 2011).

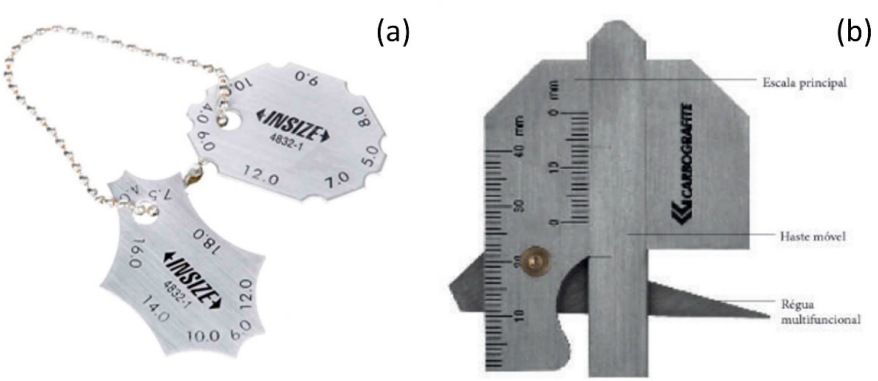


Figura 1. (a) - calibre de solda com função única (INSIZE, 2013) e (b) - Calibre de solda universal (Carbografite, 2018)

O objetivo deste trabalho é apresentar o projeto de uma peça multiuso a ser utilizada por inspetores de solda tanto em inspeções visuais quanto na calibração de equipamentos de inspeção, tendo em vista que a peça contempla um calibre de solda universal e uma chapa com os principais defeitos em cordões de solda, causados propositalmente, para que os equipamentos de inspeção os localizem, comprovando seu funcionamento. Embora existam calibres universais no mercado, não há atualmente uma peça que contemple as

principais funcionalidades de calibres em conjunto com a possibilidade de calibração de equipamentos de inspeção.

A peça apresenta ainda funcionalidades como medidores de diâmetros de eletrodos (TIG e ER) e arames de solda (MIG/MAG e SAS), além de informações pertinentes à área de soldagem.

2 I MATERIAIS E MÉTODOS

Algumas etapas foram seguidas para idealização do projeto. Primeiro, houve a definição do design da peça, sendo esta com três espessuras diferentes, contendo um tubo removível e um calibre universal. Posteriormente foi definido que os materiais utilizados seriam aço 1020 na chapa e aço inoxidável nas partes removíveis (tubo e calibre). Logo após, as dimensões foram estabelecidas, bem como quais defeitos seriam simulados. Houve também a cotação dos materiais para fabricação e uma estimativa do custo de mão de obra. Embora esteja pronto para ser fabricado, não houve a confecção de um protótipo do projeto em razão da pandemia mundial (COVID-19).

Quanto ao design, a peça terá três espessuras diferentes para possibilitar a utilização de cordões multipasse nas partes de maior espessura, e ao mesmo tempo trazer economia de material com a redução da espessura em partes nas quais não foi necessária a utilização de multipasse. O calibre universal foi posicionado na parte de menor espessura assim como o tubo. A chapa conterá os 10 defeitos mais comuns em soldagem, para que o maior número de equipamentos de inspeção possam ser calibrados através destes defeitos. Foram utilizados diferentes cortes nas laterais com diferentes qualidades, servindo também como calibre de cortes.

Sob a chapa foram gravadas à laser algumas informações pertinentes à área de soldagem, e a chapa também contará com amostras de materiais com diferentes colorações afim de permitir a identificação visual destes materiais, proporcionando que o inspetor reconheça os metais de base para solda. O material utilizado na chapa foi o aço 1020, muito comum na indústria, assim como todos os aços com baixo teor de carbono, o que possibilita a geração dos defeitos em um material muito próximo aos quais surgirão os defeitos reais. Além disso, os aços de baixo carbono também apresentam ótimo custo benefício.

Para o calibre e o tubo, partes removíveis que possivelmente terão mais contato com as mãos dos inspetores, deverá ser utilizado aço inoxidável, material predominante em todos os calibres encontrados no mercado, principalmente pela característica anti-oxidação. Quanto à oxidação da chapa, esta deverá ser evitada através da galvanização por zinco, por exemplo, ou outros métodos como pintura ou revestimento.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o levantamento das ideias sobre quais seriam as dimensões e os componentes do projeto, definiu-se que as espessuras da chapa foram de 19,05 mm (0,75 in) 12,70 mm (0,50 in) e 6,35 mm (0,25 in). O calibre com largura de 70 mm e comprimento de 100 mm, contará com uma régua com escala de 100 mm, um medidor de ângulos com escala de 0° a 180°, um medidor para eletrodos revestidos com diâmetros de 1,60 mm a 6,00 mm, um medidor de arames para solda MIG/MAG com diâmetros de 0,80 mm a 1,60 mm, um medidor de profundidade com escala de 15 mm e uma lâmina deslizante para medição de garganta, perna e espessuras com escala de 50 mm. As dimensões do calibre são demonstradas na Figura 2a (vista frontal) e na Figura 2b (vista posterior).

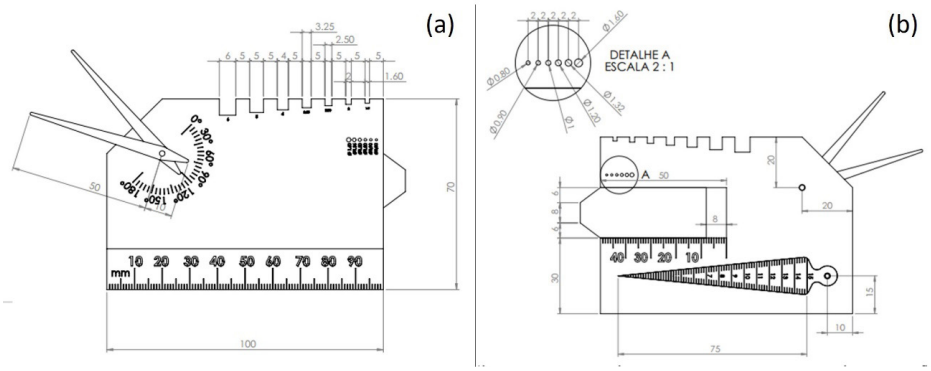


Figura 2. (a) - vista frontal do calibre de solda e (b) - Calibre de solda universal (CARBOGRAFITE, 2018)

A chapa também apresentará informações gravadas à laser, sendo estas informações: Diagrama Ferro-Carbono (Figura 3a), tabela com os principais tipos de chanfros e juntas nas quais são utilizados (Figura 3b), identificação por cor dos eletrodos TIG (Tabela 1), códigos e nomes dos defeitos produzidos nos cordões conforme a norma ISO 6520-1 (ISO, 1998) (Tabela 2), número de referência dos principais processos (Tabela 3) e exemplo de identificação do código da nomenclatura dos eletrodos revestidos (Figura 3c).

Ainda na chapa, na parte de maior espessura haverá a inclusão de alguns materiais utilizados na indústria com diferentes colorações para possibilitar a caracterização visual, sendo estes: ouro, cobre, alumínio, níquel, chumbo, bronze, latão e ferro. A chapa terá 300 mm de largura e comprimento de 480 mm, tal como demonstrado na Figura 4.

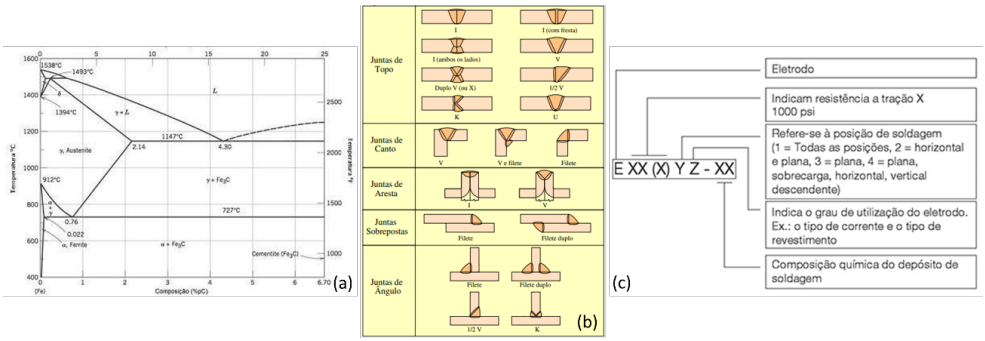


Figura 3. (a) - diagrama Ferro-Carbono (CALLISTER, 2002), (b) - tipos de juntas e estilos de chanfros (MODENESI, 2008) e (c) - nomenclatura de eletrodos revestidos (FORTES, 2005)

Designação ANSI/AWS A5.12	Composição (Impurezas Totais ≤ 0,10%)		Cor
	Aditivo Óxido	Tungstênio	
EWTh-2	ThO_2: 1,70 – 2,20%	Balanço	Vermelha
EWLa-1.5	La_2O_3: 1,30 – 1,70%	Balanço	Dourada
EWP	–	99,95%	Verde
EWLa-1	La_2O_3: 0,80 – 1,20%	Balanço	Preta
EWZr-1	ZrO_2: 0,15 – 0,40%	Balanço	Marrom
EWCe-2	CeO_2: 1,80 – 2,20%	Balanço	Laranja
EWLa-2	La_2O_3: 1,80 – 2,20%	Balanço	Azul
EWTh-1	ThO_2: 0,80 – 1,20%	Balanço	Amarela

Tabela 1. Identificação dos eletrodos TIG por cor (Adaptado de FONSECA, 2004)

Defeito	Código
Inclusão de Escoria	300
Respingos	602
Trinca à Quente	1011
Trinca à Frio	1031
Porosidade	2012-2017
Cratera	2025
Inclusão de Tungstênio	3041
Falta de Fusão	4011
Falta de Penetração	4021
Mordedura	5011

Tabela 2. Códigos de identificação dos defeitos em soldagem, norma ISO 6520-1 (ISO, 1998)

N°	Processo	N°	Processo
1	Soldagem por arco voltaico	135	Arco metálico e gás ativo (MAG)
101	Arco metálico	136	Arco metálico e gás ativo com eletrodo revestido
111	Arco voltaico manual	137	Arco metálico e gás inerte com eletrodo revestido
11	Arco metálico sem gás protetor	14	Gás protetor de Tungstênio
12	Arco submerso	141	Gás inerte de Tungstênio (TIG)
13	Arco metálico e gás protetor	15	Solda a plasma
131	Arco metálico e gás inerte (MIG)	151	Solda TIG com plasma

Tabela 3. Número de referência dos principais processos (arco elétrico) (Adaptado de FISCHER et al., 2011)

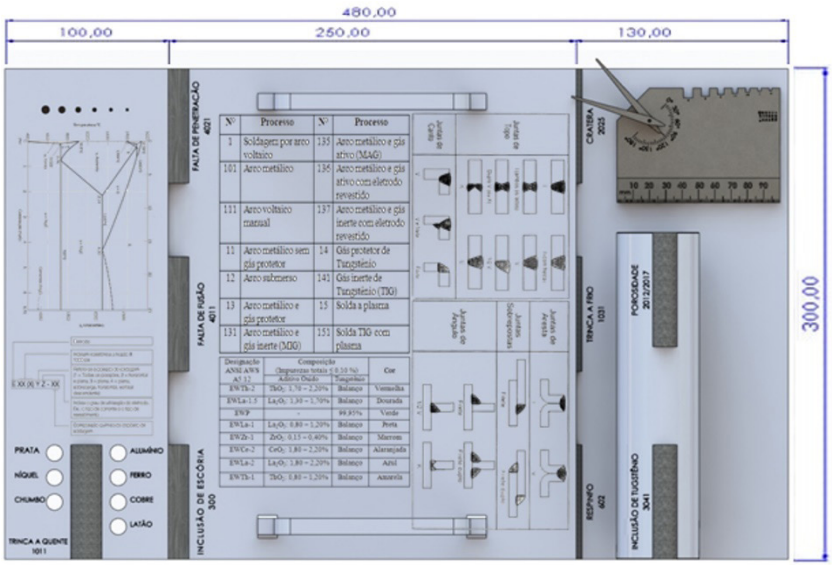


Figura 4. Vista superior da peça

As laterais foram utilizadas para demonstrar as superfícies de quatro diferentes tipos de cortes, sendo estes cortes à plasma, oxicorte, à laser e por jato d'água. Nas laterais com 450 mm, foram utilizados os cortes à plasma e oxicorte com diferenças de qualidade entre as diferentes espessuras, na maior espessura o corte foi de maior qualidade, na espessura média foi de qualidade regular e na menor espessura a qualidade foi inferior, como exemplifica a Figura 5.

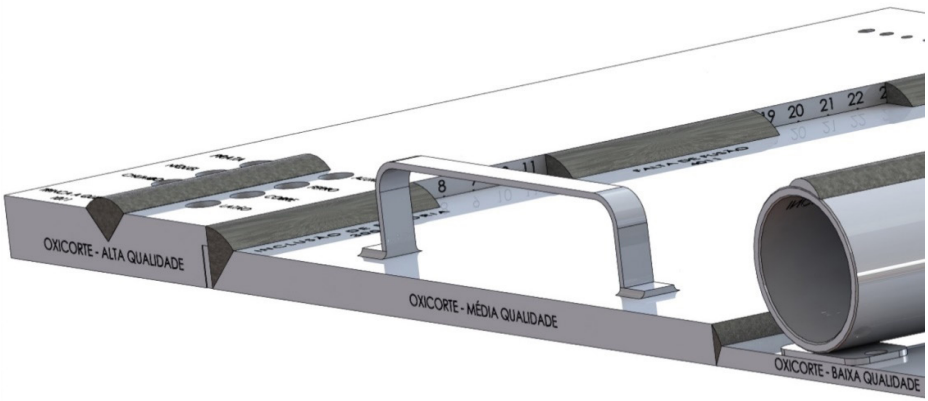


Figura 5. Exemplo de cortes laterais.

Nas laterais com 350 mm foram utilizados os cortes à laser e por jato d'água, além da gravação à laser de escalas padrão em mm e em polegadas. Na Figura 6 é possível notar o exemplo de escala em mm.

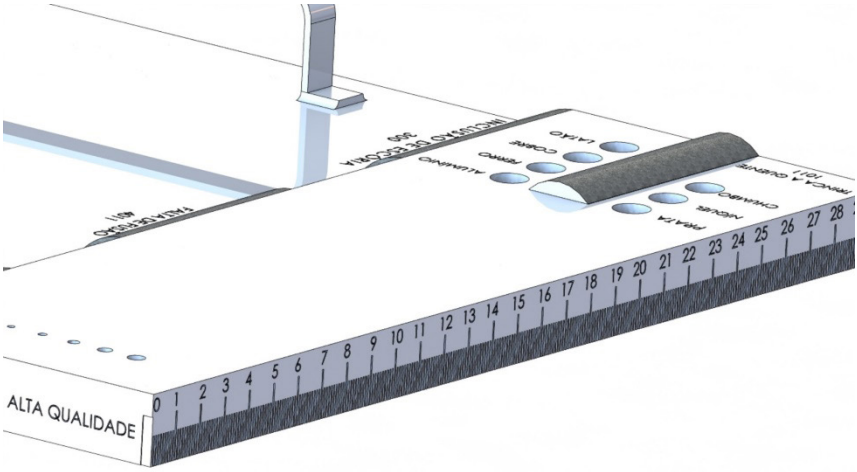


Figura 6. Escala graduada lateral em mm

A montagem final da peça pode ser vista nas Figuras 7a, 7b e 7c.

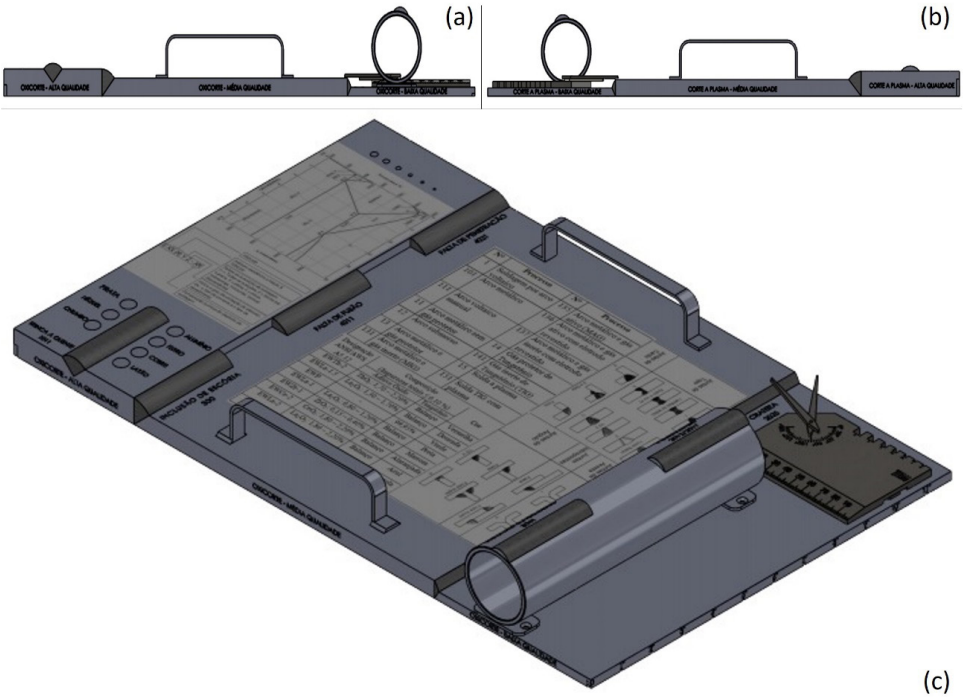


Figura 7. (a) - vista lateral direita, (b) - vista lateral esquerda e (c) - montagem final da peça (vista em perspectiva isométrica)

O projeto apresenta como principal vantagem o fato de ser multiuso, pois pode ser utilizado para diversas finalidades em soldagem e conta também com um calibre dos cortes mais utilizados além de amostras de materiais para identificação visual. O calibre universal anexado à peça possibilita que o inspetor utilize um único instrumento em inspeções visuais, reduzindo em volume e quantidade os instrumentos para transporte nas inspeções. Os defeitos presentes na peça facilitam a calibração de instrumentos de inspeção de solda, uma vez que estes podem ser testados através dos defeitos.

A utilização de diferentes tipos de corte nas laterais com diferentes qualidades demonstra a aparência superficial resultante de cada processo, além de demonstrar também as qualidades dos processos mais utilizados (plasma e oxicorte), tornando possível que o inspetor verifique a qualidade do corte das peças por comparação. As amostras de materiais com diferentes colorações fazem com que tanto o inspetor quanto o soldador possam reconhecer o material soldado de forma rápida e fácil, o que pode evitar que sejam utilizados parâmetros incorretos durante o processo de soldagem.

Outra vantagem do projeto é a segurança. A peça não apresenta riscos graves quanto à segurança de uso, os únicos riscos previsíveis são a possibilidade da peça se chocar contra o corpo do operador e o risco ergonômico, caso o operador não esteja atento

às regras de ergonomia ao erguer a peça do chão e carregá-la por um longo trajeto, por exemplo.

Uma limitação do projeto é a dificuldade na realização de ensaios por líquido penetrante, o que descarta a verificação deste método de inspeção, pois o ensaio por líquido penetrante deixa resquícios que invalidariam outros testes com penetrante no mesmo local, logo, deveria ser utilizada uma nova superfície a cada ensaio, o que inviabiliza este tipo de ensaio na peça. A oxidação do aço 1020 também pode ser vista como limitação, porém é possível que este problema seja resolvido com a galvanização ou utilização de outros processos que impeçam a oxidação, como pintura ou revestimento.

O custo de fabricação do projeto foi calculado com base na densidade dos materiais a serem utilizados. As densidades utilizadas nos cálculos foram de 8000 kg/m³ para o aço inoxidável e 7870 kg/m³ para o aço 1020, o peso aproximado da peça foi de 14,10 kg, desconsiderando o peso dos cordões de solda e de parafusos e chapas de fixação.

O custo de fabricação da peça, incluindo os materiais e os serviços de gravação à laser, cortes e soldagem, seria de aproximadamente R$ 1500,00, com base em pesquisa realizada na cidade de Uberlândia-MG em maio de 2020. Este valor não engloba os custos de projeto realizado por engenheiro, bem como o custo para desenho em software ou lucros pretendidos com a possível comercialização.

O projeto poderá impactar a indústria no sentido de que irá contribuir para a melhoria na qualidade das peças e estruturas produzidas, uma vez que auxiliará na calibração dos instrumentos de inspeção tornando-os mais precisos e confiáveis na localização de defeitos, possibilitando que estes sejam corrigidos, o que causa diminuição nos acidentes com a ruptura de estruturas, impactando também na sociedade. A peça também facilitaria o trabalho dos inspetores por oferecer em um único equipamento diversas funcionalidades, diminuindo o número de instrumentos isolados e oferecendo além da possibilidade de calibração dos instrumentos de diversos ensaios de inspeção, um calibre de solda universal para inspeções visuais.

A calibração oferecida pela peça seria útil em todos os processos de soldagem nos quais ocorrem os defeitos ou descontinuidades citados (porosidade, trinca à quente, trinca à frio, cratera, falta de fusão e penetração, inclusões, mordeduras e respingos), pois esta funcionalidade é atingida através do apontamento dos defeitos existentes pelo aparelho de inspeção, podendo ser utilizado em qualquer material, não se limitando aos cordões realizados em aços com baixo teor de carbono.

4 I CONCLUSÃO

Foi apresentado o projeto de uma peça multiuso que poderá ser utilizada por inspetores de solda em inspeções visuais e na calibração de equipamentos de inspeção.

Através da análise do projeto é possível concluir que a peça apresenta os principais

defeitos em soldagem para calibração de instrumentos de inspeção, e que o calibre de solda incluso contempla as principais funcionalidades dos calibres de solda existentes no mercado, podendo portanto ser considerado um calibre universal.

O projeto é multifuncional, devido à variedade de instrumentos passíveis de calibração, ao auxílio em inspeção visual, à possibilidade de identificação de materiais de base, à capacidade de identificação de diâmetros de eletrodos e arames de solda e à viabilidade em reconhecer a qualidade dos cortes mais utilizados na indústria, funcionando também como calibre de cortes.

REFERÊNCIAS

Carbografite. **Catálogo de produtos – Solda**. Disponível <http://www.carbografite.com.br/upload/carbografite-catalogo-completo-de-solda3.pdf>. Rio de Janeiro, 2018. Acesso em: 10 de junho de 2020.

Chiaverini, V. **Tecnologia Mecânica – Volume II: Processos de fabricação e tratamento**. McGraw-Hill, São Paulo, 1986, 315p.

De Souza, C.; Moreira, A.B.; Carneval, R.O.; Dos Santos, J.M.R.; Simões, H.R. **Uso das técnicas de END: Ultra-som (TOFD e Phased Array), Radiografia, Partículas Magnéticas e ACFM na Avaliação de Juntas Soldadas com Trincas de Fadiga**. IV Conferencia Panamericana de END, Buenos Aires, 18p. 2007.

Fischer, U.; Gomeringer, R.; Heinzler, M.; Kilgus, R.; Näher, F.; Oesterle, S.; Paetzold, H.; Stephan, A. **Manual de Tecnologia Metal Mecânica**. Blucher, São Paulo, 2011, 412p.

Fonseca, A.S. **Soldagem TIG**. Sistema FIEMG, Minas Gerais, 2004.

Fortes, C.; Vaz, C.T. **Apostila de Eletrodos Revestidos**. ESAB, Minas Gerais, 2005, 32p.

Gimenes, L.J.; Urtado, E. **Calibração de equipamento de soldagem**. Infosolda, 5p. 2011.

Insize. **Catálogo Completo – Instrumentos de Medição**. Disponível <http://www.insize.com.br/produtos/pdf/Catalogo_Completo_Produtos_Insize_2013.pdf>. São Paulo, 2013. Acesso em: 10 de junho de 2020.

ISO 6520-1. **Welding and Allied Processes – Classification of Geometric Imperfections in Metallic Materials – Part 1: Fusion Welding**. International Organization for Standardization, 1998, 23p.

Kiminami, C.S.; De Castro, W.B.; De Oliveira, M.F. **Introdução aos Processos de Fabricação de Produtos Metálicos**. Blucher, São Paulo, 2013, 236p.

Modenesi, P.J. **Terminologia Usual de Soldagem e Símbolos de Soldagem**. UFMG, Belo Horizonte, 2008.

Modenesi, P.J; Marques, P.V. **Soldagem I: Introdução aos processos de soldagem**. UFMG, Belo Horizonte, 2000.

SOBRE O ORGANIZADOR

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ansys 78, 79, 86, 91, 92, 135

Arduino 1, 2, 3, 7, 37

Arrastador 70, 71, 72, 74, 75, 76

Automação 1, 2, 6, 7, 35

Azeotropia 70, 71, 73, 75, 76

B

Barras 36, 78, 79, 83

Bim 56, 57, 58, 68, 69

C

Calibração 160, 161, 162, 167, 168, 169

Cimento ósseo 152

CNC 34, 35, 39

Contraste radiológico 152

Custos 6, 28, 30, 31, 32, 57, 134, 139, 168

D

Depreciação 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 52, 53, 54, 55

Difusores 131, 132, 134, 138, 139

Dinâmica dos fluidos 132

E

Eficiência 8, 10, 13, 15, 18, 19, 21, 23, 75, 92, 114, 118, 119, 121, 124, 125, 131

Elementos finitos 78, 79, 90, 91

Equilíbrio 9, 10, 70, 71, 72, 73, 74, 80, 82, 104, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150

Equipamentos 2, 8, 36, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 50, 53, 54, 55, 57, 100, 101, 105, 112, 114, 122, 125, 160, 161, 162, 168

F

Fator de equilíbrio 144, 145, 146, 147, 148, 149

Fibras vegetais 94

Flexão 78, 79, 80, 81, 82, 83, 93, 94, 97, 98, 100, 105, 109, 110, 111

Flexão estática 93, 94, 97, 98

G

Guincho 100, 101

H

Hidroxiapatita 152

I

Iluminação 1, 2, 4, 6, 20, 21, 26, 28, 30, 31, 32, 33

Incompatibilidade 56, 57, 61, 62, 63, 68

Industrial 7, 18, 19, 20, 21, 23, 32, 33, 77, 113, 143

Inspeção de solda 160, 167

Inversor multinível 8, 10

L

Led 20, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33

M

Máquinas 34, 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 50, 53, 54, 55, 100, 101, 111, 112

Métodos de avaliações 41

Mistura 70, 71, 72, 75, 147

O

Obra pública 56, 57

P

Peltier 113, 114, 122, 123

PenPlotter 34, 35, 38, 39

Periférico 1

Potência eólica 132, 133, 138, 139

Precisão 34, 35, 78, 79, 92, 96, 120

Projeto 2, 6, 25, 26, 28, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 56, 57, 58, 61, 63, 64, 68, 78, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 115, 116, 118, 121, 123, 134, 147, 160, 161, 162, 163, 167, 168, 169

Prototipagem 3D 113

Q

Qualidade de energia 8, 10, 13

S

Sistema 1, 2, 4, 5, 6, 21, 22, 35, 37, 39, 58, 65, 66, 68, 71, 73, 80, 87, 94, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 112, 114, 115, 116, 120, 121, 133, 149, 152, 169

Sistema de transmissão 100, 102, 103, 112

Soldagem 160, 162, 164, 165, 167, 168, 169, 170

Sustentabilidade 8, 21, 94

T

Transferência de calor 113, 123, 124, 125, 126, 127, 128

V

Valor residual 40, 42, 43, 44, 53, 55

Viabilidade 20, 21, 25, 26, 30, 31, 32, 33, 128, 131, 169

X

XSEOS 70, 71, 74, 75, 76

Atena
Editora
Ano 2021

Projeto, Análise e Otimização na Área das Engenharias

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2021

Projeto, Análise e Otimização na Área das Engenharias

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br